Der äußere Eisenbahn-Betrieb.
I. Band.

Vorkenntnisse
für den
Aeußeren Eisenbahn-Betrieb.

Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik, Mechanik. Mechanische Hülfsmittel der Eisenbahnen.

Gemeinfaßlich bearbeitet von

J. Brosius,
Königl. Eisenbahndirector
Harburg.

R. Koch,
Oberinspector der Kgl. Württemberg. Staats-Eisenbahnen.

Mit 278 Abbildungen.

Zweite umgearbeitete und verbesserte Auflage.
Neue Ausgabe.

Wiesbaden.
Verlag von J. F. Bergmann.
1893.

Der äußere

Eisenbahn-Betrieb

Handbuch

[illegible]

für Eisenbahnbeamte und Studierende technischer Anstalten.

[illegible]

„[illegible] des Lokomotivführers."

[illegible]

[illegible] und [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] Eisenbahn-Betrieb.

[illegible]

[illegible]

Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Neue Ausgabe.

Wiesbaden.
Verlag von J. F. Bergmann.
[illegible]

Der äußere Eisenbahn-Betrieb.

Handbuch

für

Eisenbahnbeamte und Studirende technischer Anstalten.

Zur Ergänzung ihrer

„Schule des Locomotivführers."

Gemeinfaßlich bearbeitet von

J. Brosius, und **R. Koch,**

Königl. Eisenbahndirector Harburg.

Oberinspector d. K. Württemb. Staats-Eisenbahnen.

Vier Bände

mit 1100 Abbildungen und mehreren Tafeln.

I. Band.

Vorkenntnisse für den äußeren Eisenbahn-Betrieb.

Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik, Mechanik.
Mechanische Hülfsmittel der Eisenbahnen.

Mit 278 Holzschnitten.

Zweite umgearbeitete und verbesserte Auflage.
Neue Ausgabe.

Wiesbaden.
Verlag von J. F. Bergmann.
1893.

Vorkenntnisse

für den

Aeußeren Eisenbahn-Betrieb.

Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik, Mechanik.
Mechanische Hülfsmittel der Eisenbahnen.

Gemeinfaßlich bearbeitet von

J. Brosius, Königl. Eisenbahndirector Harburg.

und

R. Koch, Oberinspector d. K. Württemb. Staats-Eisenbahnen.

Der äußere Eisenbahn-Betrieb. I. Band.

Mit 278 Holzschnitten.

Zweite umgearbeitete und verbesserte Auflage.
Neue Ausgabe.

Wiesbaden.
Verlag von J. F. Bergmann.
1893.

Druck von Carl Ritter in Wiesbaden.

Inhalts-Verzeichniß

des

ersten Bandes.

I. Zeichnenkunde.

	Seite
Geometrische und perspectivische Zeichnungen, natürliche Größe .	1—3
Vorderansicht oder Aufriß, Seitenansicht, Grundriß oder obere Ansicht	4
Perspective. Perspectivische Ansicht. Kavalierperspective . . .	5—6
Schatten-Construction, Schlagschatten	7
Durchschnittsfiguren	9—15
Bezeichnung der Materialien durch Farben oder Schraffirung .	11—12

II. Arithmetik.

Buchstabenbezeichnung, Addition, Subtraction, Multiplication, Proportionen, Formeln, Gleichungen, Auflösung von Gleichungen, Klammern, Wurzelbezeichnung	15—26

III. Geometrie.

a.

Gerade, krumme und parallele Linien	26
Längenmaße: Maßeinheit, Meter, Centimeter, Millimeter, Decameter (Kette), Kilometer, Meile	26—27

b.

Spitze, stumpfe, rechte Winkel	28—30
Winkelmaße, Transporteur	29
Neben- und Scheitelwinkel, Gegenwinkel	29

c.

Ebene und krumme Flächen	30
Regelmäßige und unregelmäßige Flächen	30
Flächeninhalt von Dreieck, Viereck (Parallelogramm, Rechteck, Quadrat, Rhombus, Raute, Trapez, Trapezoid)	31—34
Flächeninhalt von Vielecken	34

Seite

Kreis: Centrum, Kreisfläche, Kreisumfang (Peripherie), Halbmesser (Radius), Durchmesser (Diameter), Sehne, Kreisabschnitt, Bogenstück, Kreisausschnitt, Centriwinkel 35
Berechnung von: Kreisumfang, Kreisfläche, Bogenstück, Kreisausschnitt, Kreisabschnitt, Kreisring . . . . 35—37
Körper. Oberfläche, Grundfläche, Seitenfläche, Kante, Grund- und Seit nkanten 37
Körpermaße. Cubikmeter (Cubikstab), Liter (Kanne), Schoppen, Hectoliter (Faß), Scheffel, Cubikcentimeter, Cubikmillimeter . 38
Prisma, Parallelepiped, Würfel (Cubus). Inhalt und Oberfläche . . . . 38—39
Cylinder, Hohlcylinder (Röhre). Inhalt, Oberfläche und Mantel . . . . 39—40
Pyramide und abgestumpfte Pyramide. Inhalt und Oberfläche . . . . 40—41
Kegel und abgestumpfter Kegel Inhalt und Mantelfläche 42—43
Ring. Inhalt 43
Kugel: Mittelpunkt, Durchmesser, H lbkugel, Kugelabschnitt (Kugelhaube), Calotte, Kugelzone, Kugelkreis, Kugelausschnitt 43
Berechnung von: Kugeloberfläche, Calottenoberfläche, Zonenoberfläche, Kugelinh lt, Kugelabschnitt, Kugelausschnitt, Hohlkugel . . . . 43—45
Kegel, Kugel und Cylinder von derselben Höhe 45
Inhalt eines Fasses 45
Cylinderschnitte, Ellipse 46
Kegelschnitte, Ellipse, Parabel, Hyperbel 47
Berechnung und Zeichnung einer Ellipse 47
Zeichnung einer Parabel 48

IV. Physik.

Körper. Allgemeine Eigenschaften. Größe (Ausdehnung), Theilbarkeit (Atome), Porösität (Poren), Zusammendrückbarkeit, Ausdehnbarkeit, Schwere, (vertical, wagerecht), Undurchdringlichkeit, Trägheit (Beharrungsvermögen), Cohäsion (Zusammenhangskraft), Aggregatzustände, Adhäsion, Capillarität, Haarröhrchenanziehung, Saugfähigkeit, Haarröhrchen . . . . 48—52
Senkblei oder Loth, Setzwaage 49
Einheit des Gewichtes. Kilogramm, Gramm, Decagramm, Neuloth, Decigramm, Centigramm, Pfund, Centner, Tonne . . 49—50
Feste Körper, harte, weiche, spröde, elastische, biegsame, dehnbare. 52
Flüssige Körper. Communicirende Gefäße 53
Nivellirinstrument 53
Gasförmige Körper. Permanente . . . . 53—54
Atmosphärische Luft, Atmosphäre, Barometer . . . . 54—56
Manometer 56
Saugpumpe 56

	Seite
Heber, Stechheber, Winkelheber, Giftheber	57—58
Wärme	58—65
Thermometer, Quecksilberthermometer, Gefrierpunkt, Siedepunkt, Fundamentalabstand, Grade, Wärmegrade, Kältegrade, Pyrometer (Hitzemesser)	59—60
Ausdehnung der Körper	60
Schmelzen und Sieden, Schmelzpunkte, Siedepunkte	61—62
Wärmeeinheit (Calorie), Gebundene und latente Wärme, Kältemischungen	62
Dampfkochtopf von Papin	63
Wärme und Spannung des Dampfes	63
Spezifisches Volumen des Dampfes	64
Spezifische Wärme und Wärmekapazität	64
Wärmeleitung, Wärmeleiter, Halbleiter	65

V. Mechanik.

Statik fester Körper.

Zerlegung und Zusammensetzung der Kräfte, Parallelogramm der Kräfte, Kniehebelpresse, Schwerpunkt von Flächen und Körpern	65—76
Arten und Gesetze des Hebels, Doppel- und einarmige Hebel, Winkelhebel, Zusammengesetzter Hebel, Goldene Regel der Mechanik	76—80
Waagen. Krämerwaage, römische Waage (Schnellwaage), Tafelwaage, Decimalwaage, Centesimalwaage, Brückenwaage, Passagiergepäckwaage, Zeigerwaage, Krahnwaage, Ehrhardtsche Waage für Fahrzeuge	80—104
Gesetzliche Bestimmungen über Waagen und Gewichte, Prüfung der Waagen*)	102—105
Feste und lose Rollen, Flaschenzüge, Differenzialflaschenzug, Wagenwinden, Bockwinden, Kabelwinden, Vorgelege, Bremsscheibe, Dampfwinde, Wandaufzugmaschine	106—122
Krähne. Wandkrahn, Fairbairn-Krahn, Drehkrahn, fahrbarer Krahn, transportable Krähne, Dampfkrähne, Laufkrähne,**) Bremsband	123—138
Untersuchung und Handhabung der Krähne	139—142
Schiefe Ebene, Keil, Schraube, Schlittenwinde, Windeböcke . .	142—150
Einfluß der Bahnneigung auf den Zugwiderstand	150—152
Festigkeit der Materialien und Tabelle. Absolute, rückwirkende, relative, Torsions-, Abscheerungs-, Zerknickungsfestigkeit. Elastizitätsgrenze, Elastizitätsmodul, Festigkeitsmodul, Sicherheitsmodul, neutrale Achse (Faserschicht), Trägheitsmoment, Widerstandsmoment	152—172
Seile und Ketten	172
Federwaagen. Reisegepäckwaage	172—174

*) Federwaagen, siehe Seite 172—174. — Wasserwaage, siehe Seite 204.
**) Hydraulische Krähne, siehe Seite 192—196.

Seite

Dynamik fester Körper.

Gleichmäßige, ungleichmäßige, beschleunigte Bewegung . . . 174—177
Parallelogramm der Geschwindigkeit 177
Fliehkraft (Centrifugalkraft) 177
Kraft, Masse, Beschleunigung, Arbeit, lebendige Kraft . . . 178—183
Reibung, Tabelle, Reibungscoeffizient . . . . 184—187
Stoß zweier Körper, elastischer Stoß, unelastischer Stoß . . 187—190

Statik flüssiger Körper (Hydrostatik).

Gleichheit des Druckes. Hydraulische Presse . . . . . . 190—191
Hydraulische Krähne, Accumulator . . . . 192—196
Hydraulische Kohlenladevorrichtung . . . . 197—199
Auftrieb des Wassers, Spezifisches Gewicht, Aräometer, Prozent-aräometer, Wasserwaage . . . . 200—204

Dynamik flüssiger Körper (Hydromechanik).

Bewegung des Wassers in Röhren und Kanälen . . . . . 205—208
Wasserhebevorrichtungen. Wurfschaufel, Ziehbrunnen, Wurfrad, Schöpfrad (chinesisches) . . . . 208—210
Paternosterwerk, Wasserschraube . . . . 211—212
Pumpen, Ansauger, Saugkorb . . . . 213—217
Leistungsfähigkeit der Saugpumpen . . . . 218—219
Pumpen und Feuerspritzen . . . . 223—224
Doppelt wirkende Pumpen . . . . 225—231
Rohrleitungen und deren Verbindungen . . . . 232—234
Amerikanische Röhren (Abessinische Brunnen) . . . . . . 234—236
Feuerspritzen . . . . 236—238
Centrifugalpumpen 238
Hydraulische Widder oder Stoßheber . . . . 238—240
Injectoren oder Dampfstrahlpumpen, Pulsometer . . . . . 240—246

Statik luftförmiger Körper (Aerostatik).

Volumen luftförmiger Körper . . . . 246—247
Calorische Maschine 247
Gleichheit des Luftdrucks nach allen Seiten 248

Dynamik luftförmiger Körper (Aerodynamik).

Widerstand der Luft bei Eisenbahnzügen 248
Windseiten- und Windkopfdruck 250
Gebläsemaschinen, Blasebalg, Centrifugalgebläse, Cylindergebläse 251
Centrifugalventilator 252

Vorwort.

Das vorliegende Werk verdankt seine Entstehung in erster Reihe dem äußerst günstigen Erfolge, welchen das Lehrbuch „Die Schule des Locomotivführers“ von denselben Verfassern erzielt hat.

Da die Ausbildung und Prüfung der Beamten des Stations-, Betriebsmaschinen- und Heizhausdienstes, sowie Derjenigen, welche im Wagen-, Rangir- und Weichenstellerdienste thätig sind, ferner nicht in letzter Reihe die der Zug- und Streckenbeamten eben so wichtig sind, so erschien auch für diese ein Lehr- und Prüfungsbuch wünschenswerth, wie ein solches in der „Schule des Locomotivführers“ für die Locomotivbeamten nach allseitigem Urtheile sich als zweckmäßig bewährt hat.

Wie genanntes Werk die Studirenden technischer Lehranstalten und viele Eisenbahnbeamten in die Kenntniß der Locomotive und des Locomotivdienstes einführt, so soll „Der äußere Eisenbahnbetrieb“ diese Kenntniß auf das ganze Gebiet der äußeren Eisenbahnbetriebstechnik erweitern.

Der Titel „Die Schule für den äußeren Eisenbahnbetrieb“ der ersten Auflage ist in „Der äußere Eisenbahnbetrieb“ geändert, weil die Aehnlichkeit der Titel bei der Beschaffung einer der beiden „Schulen“ vielfach zu Irrthümern Veranlassung gegeben hat.

Das in der ersten Auflage dreitheilige Werk haben die Verfasser auf Anregung von Herrn Geheimen Oberbaurath Oberbeck (Archiv für Eisenbahnwesen, herausgegeben im Ministerium der öffentlichen Arbeiten 1883, IV. Heft) zu vier Bänden umgearbeitet, wodurch sich eine entsprechende Erweiterung ergab, wenngleich Manches als in den Rahmen der Arbeit nicht recht passend und Veraltetes fortgelassen ist.

Jeder Band bildet nun ein für sich abgeschlossenes, selbstständiges und gesondert käufliches Ganze. Es umfaßt der

I. Band. Die Vorkenntniß für den äußeren Eisenbahnbetrieb, nämlich: Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik und Mechanik, sowie die mechanischen Hülfsmittel der Eisenbahnen.

II. Band. Die Eisenbahnbetriebsmittel und zwar: Locomotiven und ihre Leistungsfähigkeit, Verbrauch an Locomotivmaterialien, Wasser- und Kohlenstationen, Selbstkosten der Züge. Dann: Personen-, Post-, Gepäck-, Vieh- und Güterwagen, einschließlich der auf deutschen Bahnen gebräuchlichen neueren und neuesten Bremsvorrichtungen.

III. Band. Bau und Unterhaltung der Eisenbahnen: Allgemeines. Vorarbeiten, Feldmeßkunst, Baumaterialien. Erdarbeiten, Fundirungen, Mauer-, Zimmer- und andere Handwerkerarbeiten. Herstellung der Gebäude, bauliche Anlagen auf freier Strecke. Verschiedene Oberbaue, deren Herstellung, Verlegung, Unterhaltung. Ausweichungen und Kreuzungen. Centralisirung der Weichen und Signale. Wegeschranken. Drehscheiben, Schiebebühnen. Wasserstationen.

IV. Band. Den Eisenbahn-Zugförderungsdienst und zwar: Die Beamten des Zugförderungsdienstes und die für dieselben geltenden Reglements, Dienstvorschriften, Bestimmungen u. a. Das Signalwesen im Allgemeinen, der Signaldienst. Die Signalordnung für die Eisenbahnen Deutschlands. Den Stationsdienst im Allgemeinen. Der Wagendienst in seinem vollen Umfange. Den Rangir- und Weichenstellerdienst. Die Eisenbahnzüge, deren Eintheilung, Rangordnung, Bildung, Besetzung, Heizung und Beleuchtung, Untersuchung, Fahrgeschwindigkeiten, Stärke u. s. w.

Den Betriebsmaschinendienst. Beaufsichtigung und Unterhaltung der Locomotiven und mechanischen Anlagen. Vertheilung und Gestellung der Locomotiven. Locomotivdienstordnung. Dienstvertheilung u. m. a. Der Locomotivfahrdienst in ganzem Umfange.

Der Fahrdienst. Fahrpläne, Diensteintheilung. Allgemeine Dienstobliegenheiten der Fahrbeamten, Schmierer-, Bremser-, Packmeister-, Schaffner- und Zugführerdienst. Besondere Vorkommnisse und Ereignisse. Unfälle.

Den Streckenbewachungsdienst. Dienstobliegenheiten des Bahnmeisters, der Schranken- und Bahnwärter.

Die Verfasser waren sich der Schwierigkeit voll bewußt, ein solches das ganze Gebiet des äußeren Eisenbahnbetriebes umfassendes Werk zu schaffen, aus welchem die Beamten nicht nur die gerade für die Prüfung erforderlichen Belehrungen schöpfen können, sondern welches denselben auch als Rathgeber und Stütze bei den verschiedenen im Dienste an sie herantretenden Fragen zu nützen im Stande ist. Unsere Arbeit konnte unter Berücksichtigung der hauptsächlich in Frage kommenden Beamten im Allgemeinen nur die guten Kenntnisse der Volksschule voraussetzen, während sie zugleich doch auch dem besser vorgebildeten und in seinem Fache weiterstrebenden Beamten genügen soll.

Trotz des umfangreichen Stoffes durfte das Werk keine zu große Ausdehnung und damit einen zu hohen Kaufpreis bekommen, um nicht bei vielen Beamten die Beschaffung des Werkes zu erschweren. Da die einzelnen Bände je für sich käuflich sind, ferner von dem Herrn Verleger ratenweise Zahlungen vermittelt und Freiexemplare bei gleichzeitigem Bezuge des ganzen Werkes oder einzelner Bände bewilligt werden, so treten dadurch Kaufserleichterungen ein.

Den Inhalt des Werkes betreffend, so bringt der I. Band über die Vorkenntnisse für den äußeren Eisenbahnbetrieb nur so viel, wie in den Prüfungsvorschriften von einigen Beamten verlangt wird, während die Mechanik sämmtliche bei den Eisenbahnen zur Anwendung kommenden mechanischen Anlagen und Hülfsmittel beschreibt, sowie deren Untersuchung, Unterhaltung und Behandlung angibt.

Im II. Bande sind die Locomotiven in so weit behandelt, wie die Kenntniß davon den nicht maschinentechnisch vorgebildeten Beamten des Betriebsdienstes uns nothwendig erschien, da die „Schule des Locomotivführers" dem eigentlichen Maschinentechniker und den Locomotivbeamten genügende Belehrung bietet.

Den Abschnitten über die Leistungsfähigkeit der Locomotiven, den Verbrauch derselben an Materialien, die Selbstkosten der Züge dürfte auch das Interesse vieler Verwaltungsbeamten nicht fehlen. — Die Wagen sind mit Rücksicht auf die Stations-, Wagenrevisions-, Zugbeamten u. a. eingehender besprochen, weil bei dem umfangreichen Stoffe die bezüglichen Dienstanweisungen, Vorschriften, Bestimmungen u. a. das Wissenswerthe nur in enger Begrenzung enthalten können. Auch haben die in

Frage kommenden Beamten zum großen Theil keine oder zu kurze Zeit Gelegenheit gehabt, in Eisenbahnwerkstätten die Wagen in ihren Einzelheiten kennen zu lernen.

Der Wichtigkeit des Gegenstandes entsprechend sind die Bremsen überhaupt und die durchgehenden Bremsen von Westinghouse, Carpenter, Hardy, Körting und Heberlein in Bezug auf Einrichtung, Unterhaltung und Bedienung eingehend behandelt.

Vor vollständiger Drucklegung des II. Bandes gelang es uns noch, in einem Nachtrage auch die neueste Westinghouse-Schnellbremse in ausführlicher Darstellung bringen zu können.

Den III. Band betreffend, so könnte vielleicht gesagt werden, daß der Bau und die Unterhaltung der Eisenbahnen nicht in eine Abhandlung über den Eisenbahnbetrieb gehören; dieses ist unseres Erachtens nicht richtig. Viele Vorkommnisse im Eisenbahnbetriebe sind demjenigen Beamten, welcher nicht mindestens eine gewisse Kenntniß von der Einrichtung der Gleisanlagen, Drehscheiben, Schiebebühnen, Stellwerke u. m. a. hat, nicht verständlich. In der Einleitung zum II. Bande haben wir hervorgehoben, weßhalb es sich als nothwendig erweist, daß außer den maschinentechnischen auch die übrigen Beamten des äußeren Eisenbahndienstes mit der Einrichtung der Locomotiven und Wagen, sowie mit dem Locomotiv- und Wagendienste einigermaßen vertraut seien; ganz ebenso dünkt es uns erforderlich, daß auch der nicht bautechnische Eisenbahnbeamte eine gewisse Vertrautheit mit den baulichen Anlagen hat; eine Nichtkenntniß derselben wird sich überall störend bemerkbar machen, wenn es darauf ankommt, daß ein Betriebsbeamter — nennen wir beispielshalber den Stationsvorsteher, Zugführer, Werkmeister — ohne Verzug sachgemäße Anordnungen treffen soll, wo die baulichen und mechanischen Einrichtungen der Eisenbahn mit in Frage kommen.

Im Uebrigen ist unsere Arbeit, wie der Titel besagt, auch für Studirende, also für angehende Eisenbahnbeamte, berechnet, und diese dürften doch, mögen sie nun zur Technik oder zur Verwaltung übergehen, bei dem Studium des äußeren Eisenbahnbetriebes den Inhalt des III. Bandes vermissen.

Im IV. Bande, für dessen völliges Verständniß die Kenntniß der drei ersten Bände mindestens wünschenswerth ist, haben wir versucht, alles das, was zum eigentlichen äußeren Eisenbahnbetriebe gehört, und wie er sich tagtäglich abspielt, in gedrängter Fassung zur Darstellung zu bringen.

Den Signaldienst, welcher sich überall im Betriebe wiederfindet, haben wir im IV. Bande vorangesetzt, wogegen die bezüglichen Bestimmungen aus der Betriebs- und Verkehrsordnung, aus den technischen Vereinbarungen, den vielen Dienst-Vorschriften und -Anweisungen, den sonstigen Bestimmungen, Vereinbarungen u. v. a. überall dort angeführt sind, wohin sie sachgemäß gehören. Wir glauben, daß dadurch dieselben von vielen Lesern besser verstanden werden und dem Gedächtnisse sich leichter einprägen, als wenn die für jede Beamtenklasse gültigen Bestimmungen aus den verschiedensten Dienstanweisungen, Vereinbarungen u. s. w. als eine geschlossene Sammlung etwa dem „Dienste" des betreffenden Beamten vorgedruckt wären.

Wir haben im IV. Bande dem Wagendienste, dem Betriebsmaschinen- und dem Locomotivfahrdienste mit Absicht einen großen Raum gewährt, weil in Bezug auf diese Zweige der Betriebstechnik viele in Frage kommende Eisenbahnbeamte keine Gelegenheit hatten, in eigener Praxis Erfahrungen zu sammeln. Es erscheint wünschenswerth, daß eine etwas größere Kenntniß von den Eisenbahnfahrzeugen, sowie von dem Locomotiv- und Wagendienste, wie ferner ein besseres Verständniß der im Locomotiv- und Wagenbetriebe vielfach auftretenden wechselvollen Vorkommnisse Allgemeingut für alle Betriebs- und Verwaltungsbeamte werde.

Es bedarf kaum der Erwähnung, daß überall den neuesten Ordnungen, Dienstanweisungen, Vorschriften, Vereinbarungen, Uebereinkommen u. s. w. Rechnung getragen ist. Wenn noch hier und da einige wenige Worte aus den am 1. Januar 1893 außer Kraft getretenen Reglements, sowie aus der bis zu diesem Zeitpunkte gültigen Signalordnung vorkommen, für welche andere eingeführt sind, so hat dieses darin seine Veranlassung, daß die neuen Ordnungen an Stelle der alten dem bereits fertig im Drucke vorliegenden IV. Bande einverleibt werden mußten, was mit einzelnen Worten an einigen Stellen nicht durchführbar war. Ein Mißverständniß dadurch ist in der jetzigen Zeit des Ueberganges um so mehr ausgeschlossen, als die neuen Worte sich erst allmählich einbürgern werden, wie denn in Oesterreich und anderen deutsch redenden Ländern die neuen Worte nicht eingeführt sind. An einigen Stellen haben wir es zum besseren Verständnisse für nöthig gehalten, das ältere Wort in Klammern dem neuen beizufügen.

Das Erscheinen der II. Auflage bietet den Verfassern eine willkommene Gelegenheit, der in vielen technischen und anderen dem

Eisenbahnwesen nahe stehenden Zeitschriften zum Ausdruck gebrachten freundlichen Anerkennungen für ihre Arbeit sich mit Dank zu erinnern. Wenn unser Werk dazu beiträgt, wie ein Referat in der Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen hervorhebt, die fachliche Bildung einiger Beamtenklassen der Eisenbahnen zu fördern, so haben damit die Verfasser das sich vorgesteckte Ziel erreicht.

Von doppeltem Werthe war uns die oben bereits erwähnte ebenso wohlwollende wie eingehende Besprechung unserer Arbeit durch Herrn Geheimen Oberbaurath Oberbeck. Die gemachten Ausstellungen sind in Bezug auf die Eintheilung der Arbeit, die Normalien, den Haarmann'schen Oberbau und die durchgehenden Bremsen sorgfältigst verwerthet worden.

Es war bei dieser neuen Auflage der Verfasser Bestreben, um uns der Worte des Herrn Referenten zu bedienen, „dem zeitigen Stande der Eisenbahntechnik und der Grundsätze für den Eisenbahnbetrieb so weit als möglich Rechnung zu tragen.“

Zugleich mit der Hoffnung, daß das Werk eine ebenso freundliche Aufnahme finden möge, wie die „Schule des Locomotivführers“, sprechen wir allen denen unseren besten Dank aus, welche uns dabei mit Rath und That zur Seite standen und ihre weitere Hülfe zusagten; wir werden für jeden Rath und gütige Mittheilung von Vorschlägen bezüglich wünschenswerther Verbesserungen und Ergänzungen, wie sie etwa in der Praxis ersichtlich werden, unseren Fachgenossen sehr verpflichtet sein.

Harburg und Friedrichshafen, Weihnachten 1892.

Brosius. Koch.

Vorkenntnisse

für den

Eisenbahn-Betriebsdienst.

Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik

und

Mechanik.

I. Zeichnenkunde.

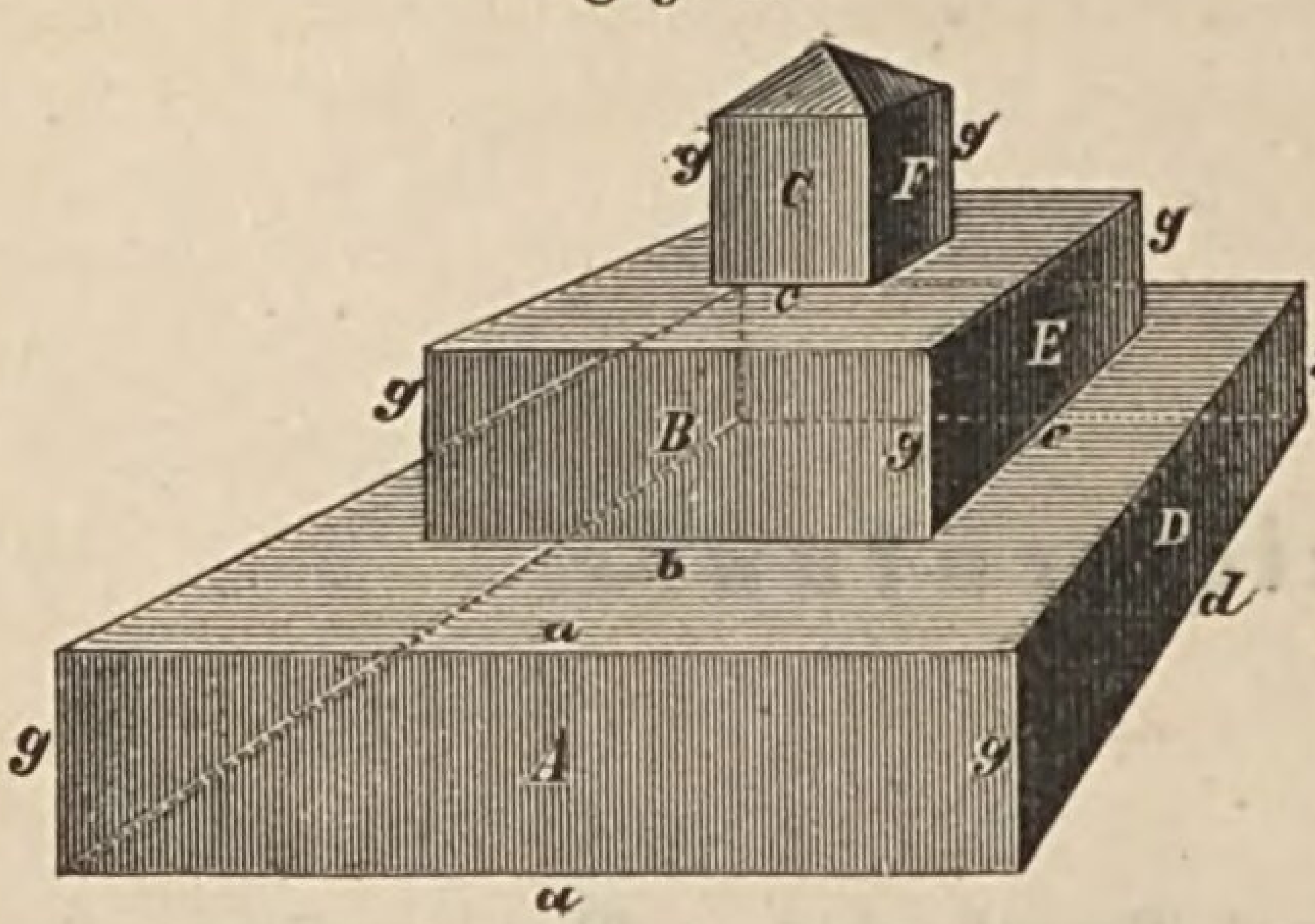
Bei dem Betrachten eines Gegenstandes, z. B. einer Locomotive, eines Wagens, eines Gebäudes, einer Landschaft, ebenso bei einem durch den Photographen aufgenommenen Bilde erscheinen Theile um so kleiner, je entfernter sie liegen. Eine Photographie läßt aus diesem Grunde das Größenverhältniß der dargestellten Gegenstände zu einander nur unvollkommen erkennen. Da es nun auf die Größenverhältnisse sehr wesentlich bei Bauausführungen, bei der Herstellung von Maschinen und Maschinentheilen 2c. ankommt, so ist man genöthigt, statt der Benutzung solcher Bilder und Zeichnungen, wie sie der Maler und Photograph liefern, und die als perspectivische bezeichnet werden, nach sogenannten geometrischen Zeichnungen zu arbeiten. Geometrische Zeichnungen unterscheiden sich von perspectivischen dadurch, daß auf ihnen jeder einzelne Theil des dargestellten Gegenstandes genau in seiner wahren (natürlichen) Größe, oder, falls sonst das Bild unbequem groß werden würde, in einem bestimmten Verhältnisse verkleinert wiedergegeben ist.

Die Fig. 1—7 sollen die Unterschiede der verschiedenen Zeichnenmethoden verdeutlichen. Dieselben stellen drei aufeinander liegende Platten in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe*) dar. In allen Figuren

*) Anmerkung. Bei einer Zeichnung wird unter natürlicher oder wahrer Größe stets die Größe verstanden, in welcher ein Gegenstand wirklich existirt oder zur Ausführung gebracht werden soll. Das auf den Zeichnungen angegebene Verhältniß der Verkleinerung — bei obigen Figuren also das Verhältniß 1 : 10 — bezieht sich auf die Verkürzung der linearen Abmessungen, es sind also in unserem Falle die einzelnen Seiten nur so viele Millimeter lang gezeichnet, wie sie in Wirklichkeit Centimeter lang sein

sind dieselben Flächen mit denselben großen Buchstaben, und dieselben Seiten mit denselben kleinen Buchstaben bezeichnet.

Fig. 1.



Die perspectivische Zeichnung Fig. 1 zeigt die Gestalt der drei aufeinander liegenden Platten, von welchen die obere zugespitzt ist, am deutlichsten, die Seitenlängen können jedoch nur bezüglich der Linien a und g der Fläche A nach dem der Fig. 3 beigefügten Maßstabe abgemessen werden. Wenngleich die Höhen g der oberen beiden Platten der der unteren Platte gleich sind, waren sie doch gegen die der Fläche A verkürzt zu zeichnen, weil sie dem Auge des Beschauers entfernter liegen. Da auch die übrigen Abmessungen der Fig. 1 nach dem beigefügten Maßstabe nicht zu bestimmen sind,*) so kann sie nur zur Veranschaulichung der Form des Gegenstandes dienen, die Herstellung desselben nach dieser Zeichnung ist nicht angänglich.

Stellt sich der Beschauer in großer Entfernung auf und sieht voll auf die Flächen A, B und C, so werden ihm die Platten in der Gestalt der Fig. 2 erscheinen, und in der Gestalt der Fig. 3, wenn er voll auf die Flächen D, E und F sieht. Wegen der verhältnißmäßig geringen Unterschiede in den Entfernungen der drei Flächen A, B und C der Fig. 2, und der Flächen D, E und F der Fig. 3 von dem Auge des Beschauers verschwinden die Längenunterschiede der Linien g gegeneinander, es dürfen also diese und auch die Linien a, b und c, wie ferner die Linien d, e und f nach

---

sollen oder sind. Da die Größen von Flächen mit den Quadraten, die Inhalte von Körpern aber mit den Kuben der Seitenlängen wachsen und abnehmen, so wird ersichtlich, daß in unseren Figuren die Flächen nur $^1/_{100}$ der natürlichen Flächengrößen ausmachen, während der körperliche Inhalt nur $^1/_{1000}$ von dem des ausgeführten Körpers betragen würde. Für einen anderen Maßstab, z. B. einen solchen von 1 : 5, verhalten sich die Seiten wie 1 : 5, die Flächen wie 1 : 25 und die Inhalte wie 1 : 125.

*) Anmerkung. Die Bestimmung auch der übrigen Abmessungen nach dem Maßstabe ist allerdings möglich, es bedarf aber zu derselben umständlicher Zeichenoperationen.

demselben Maßstabe aufgetragen werden. Während daher einerseits die Fig. 2 und 3 die Gestalt der aufeinander liegenden Platten weniger deutlich erkennen lassen als die Fig. 1, so können doch diese Figuren anderseits direct zur Abmessung der Breiten- und Höhenmaße a, b, c und g, und ferner für die Maße der Tiefe d, e und f des Objects dienen.

Fig. 2.

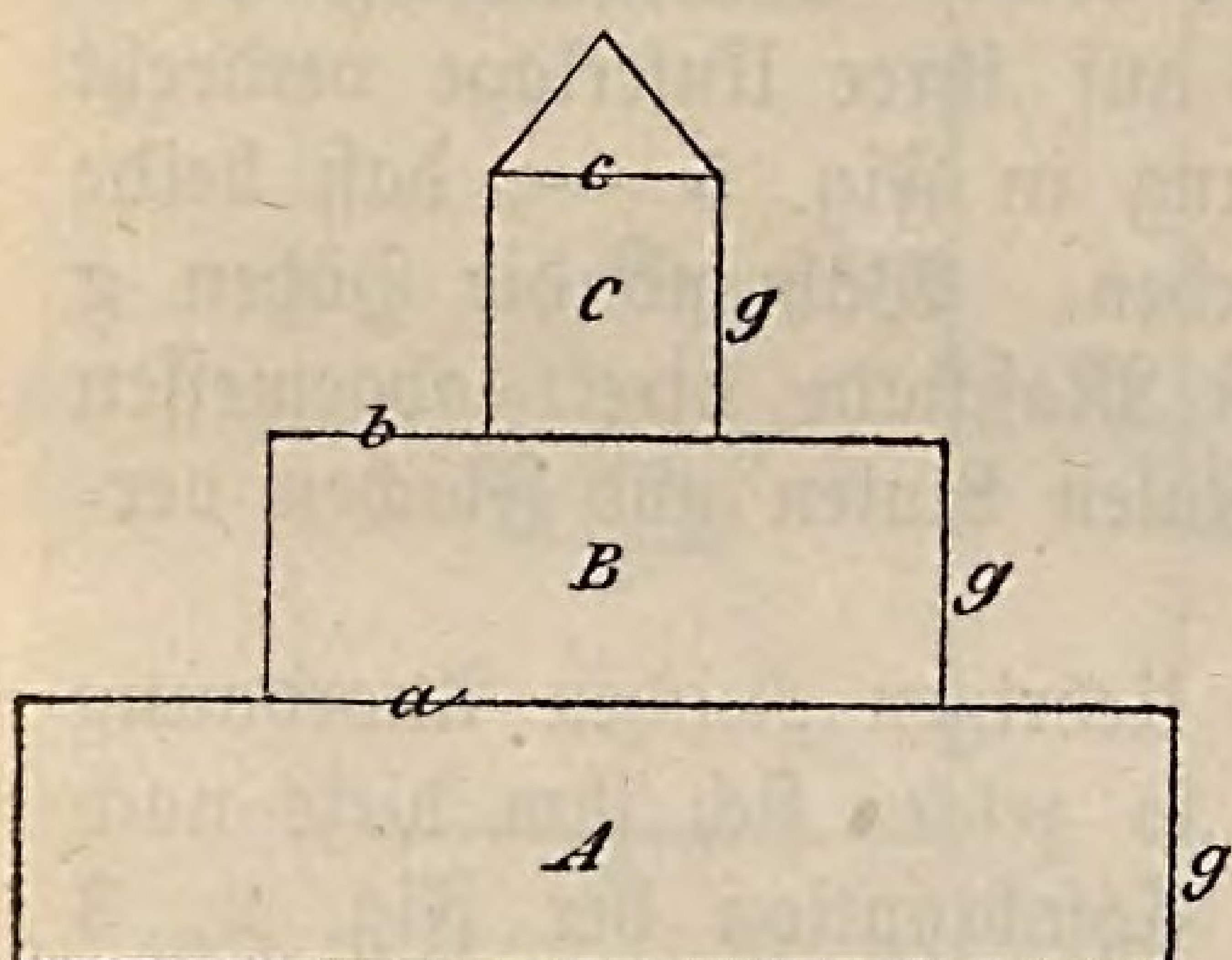
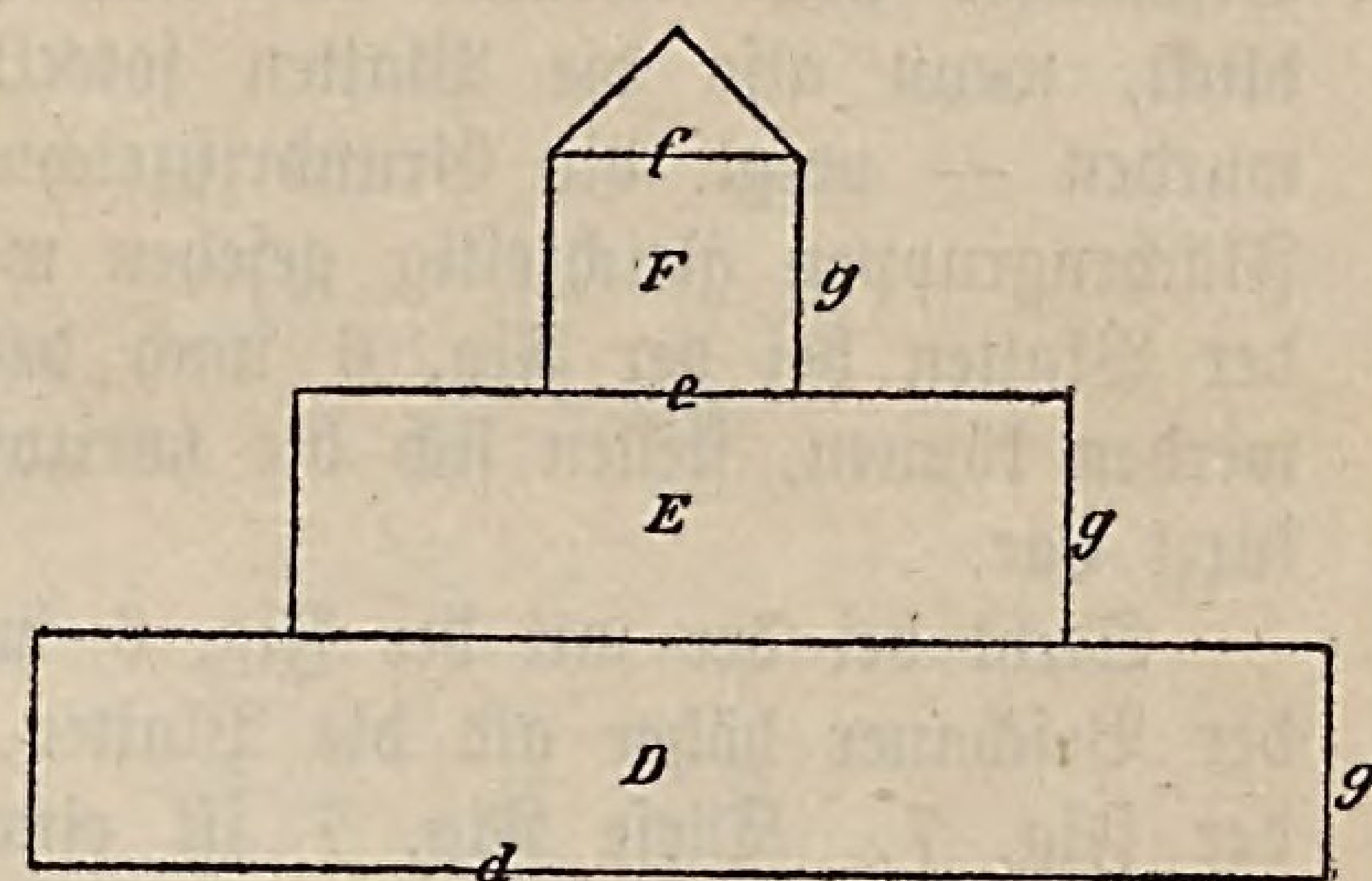
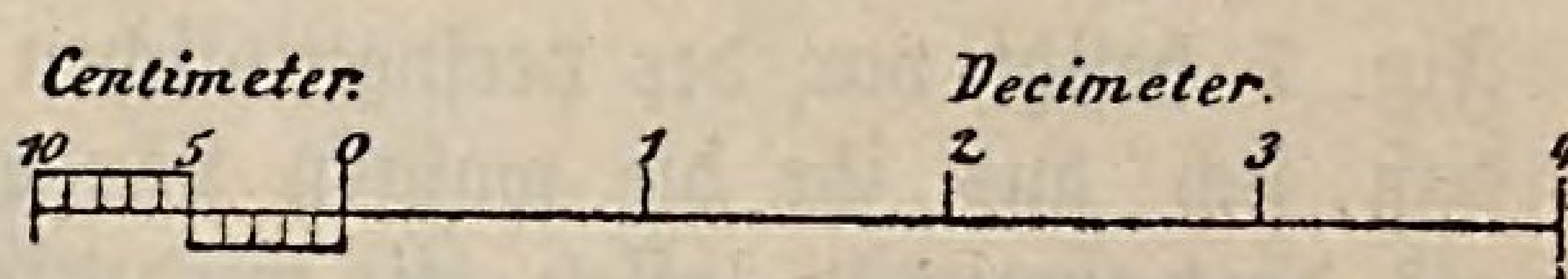


Fig. 3.





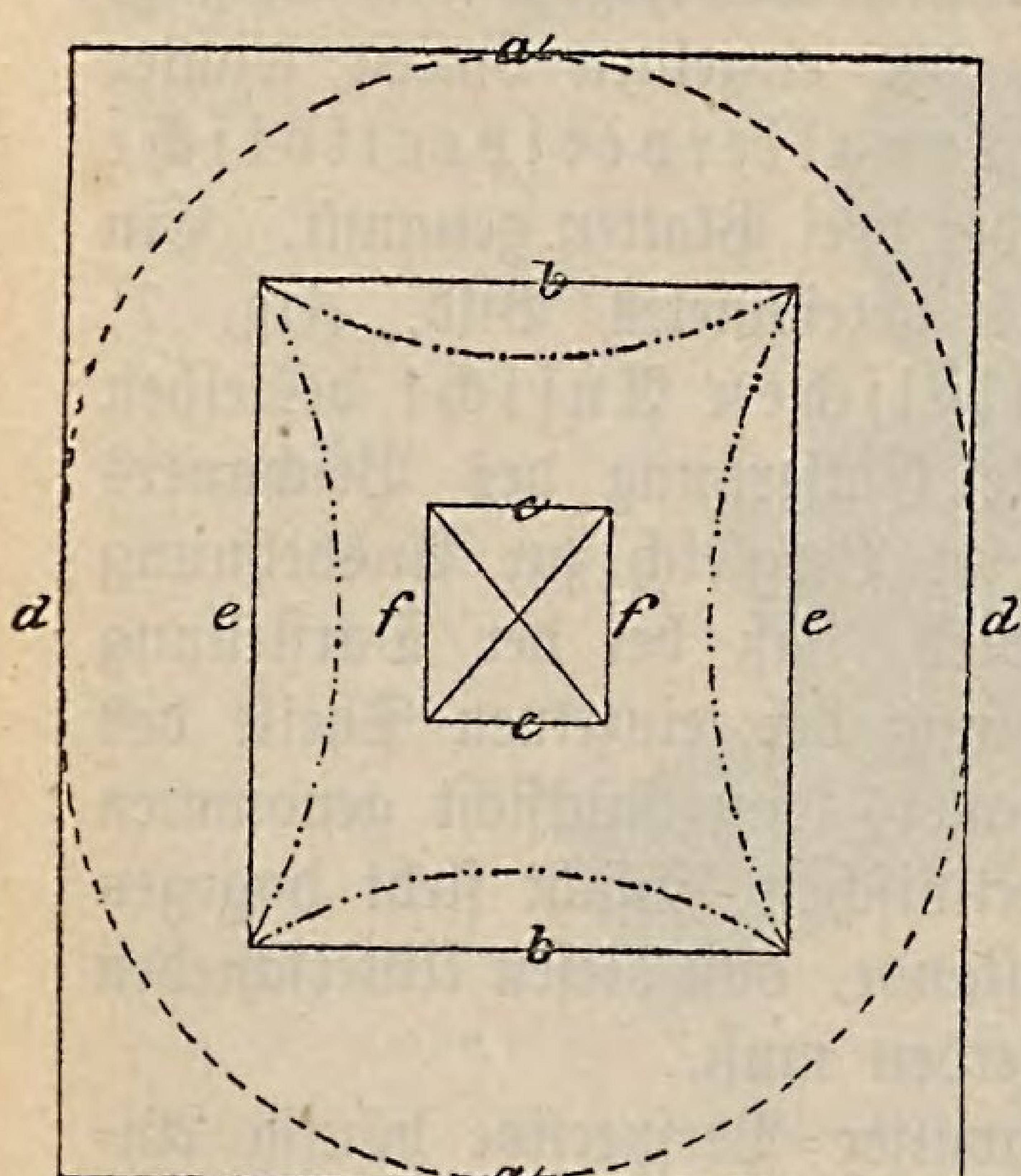


Fig. 4.

Die Fig. 4 zeigt die obere Ansicht der drei Platten,*) wenn der Beschauer sich in großer Entfernung rechtwinklich über ihnen befindet.

Man ordnet die Figuren so einander gegenüber und untereinander an, daß sich dieselben Seiten und Flächen entweder in gleicher Bildhöhe nebeneinander, oder daß sie sich genau übereinander zeigen. Die Fig. 4 ist für die richtige Herstellung unseres Objectes nicht durchaus erforderlich, da seine Formen und Dimensionen hinlänglich aus den beiden Ansichten, Fig. 2 und 3, zu erkennen sind, wenn man weiß, daß die Platten üllerall gerade Kanten haben.

*) Anmerkung. Es kommen hier nur die ausgezogenen Linien der Fig. 4 in Betracht.

Die Fig. 2 wird die Vorderansicht oder der Aufriß, die Fig. 3 die Seitenansicht und die Fig. 4 der Grundriß, oder die obere Ansicht des Gegenstandes genannt.

Deutlicher als aus den Fig. 2 und 3 ist die Aufeinanderschichtung der drei Platten aus der Fig. 6 zu erkennen, welche eine Combination der Fig. 2 und 3 bildet und entsteht, wenn das in gleicher Höhe mit dem Objecte befindliche Auge des entfernt stehenden Beschauers nicht normal auf eine der beiden Seitenflächengruppen blickt, wenn also die Platten soweit auf ihrer Unterlage verdreht wurden — vergl. die Grundrißzeichnung in Fig. 5 —, daß beide Flächengruppen gleichzeitig gesehen werden. Während die Höhen g der Platten bei der Fig. 6 nach dem Maßstabe direct abgemessen werden können, stellen sich die horizontalen Linien und Flächen verkürzt dar.

Steht bei der mit der Fig. 6 im Uebrigen gleichen Anordnung der Beschauer höher als die Platten, so zeigen sich ihm diese nach der Fig. 7. Diese Fig. 7 ist eine Combination der Fig. 2, 3 und 4, in welcher sämmtliche Linien verkürzt erscheinen. Die Fig. 7 besitzt vor der perspectivischen Ansicht der Fig. 1 den Vorzug, daß sich aus ihr die wahren Längen der einzelnen Linien leichter als dort ermitteln lassen; sie wird die kavalierperspectivische Ansicht (Kavalier-Perspective) der drei Platten genannt. Ein nach der Kavalier-Perspective gezeichnetes Bild, Fig. 7, unterscheidet sich von einer perspectivischen Ansicht desselben Gegenstandes, Fig. 1, nur durch die Entfernung des Beschauers von dem Objecte, welche bei ersterer im Vergleich zur Ausdehnung des Objectes selbst so groß gewählt wird, daß bei der Darstellung auf die größere oder kleinere Entfernung der einzelnen Theile des Gegenstandes von dem Auge des Beschauers keine Rücksicht genommen zu werden braucht. Bei einer perspectivischen Ansicht steht dagegen der Beschauer so nahe vor dem Gegenstande, daß diesen Unterschieden der Entfernung Rechnung getragen werden muß.

In der Praxis wird von der Kavalier-Perspective häufig Anwendung gemacht, wenn es darauf ankommt, die Gestalt eines Gegenstandes besser zu verdeutlichen, als das durch geometrische Zeichnungen (Zeichnungen wie die Fig. 2, 3 und 4) möglich ist. Es würde allerdings eine perspectivische Zeichnung denselben Zweck noch besser erfüllen, es erfordert aber deren Anfertigung unverhältnißmäßig mehr Arbeit, während die Zeichnung selbst zum Zwecke der Größenbestimmung nahezu werthlos ist.

Es wurde schon angedeutet, daß die Fig. 2 und 3, also Vorder= und Seitenansicht der drei Platten, ausreichen, um diese unter Be= nutzung des beigefügten Maßstabes anfertigen zu können, sobald

Fig. 5.

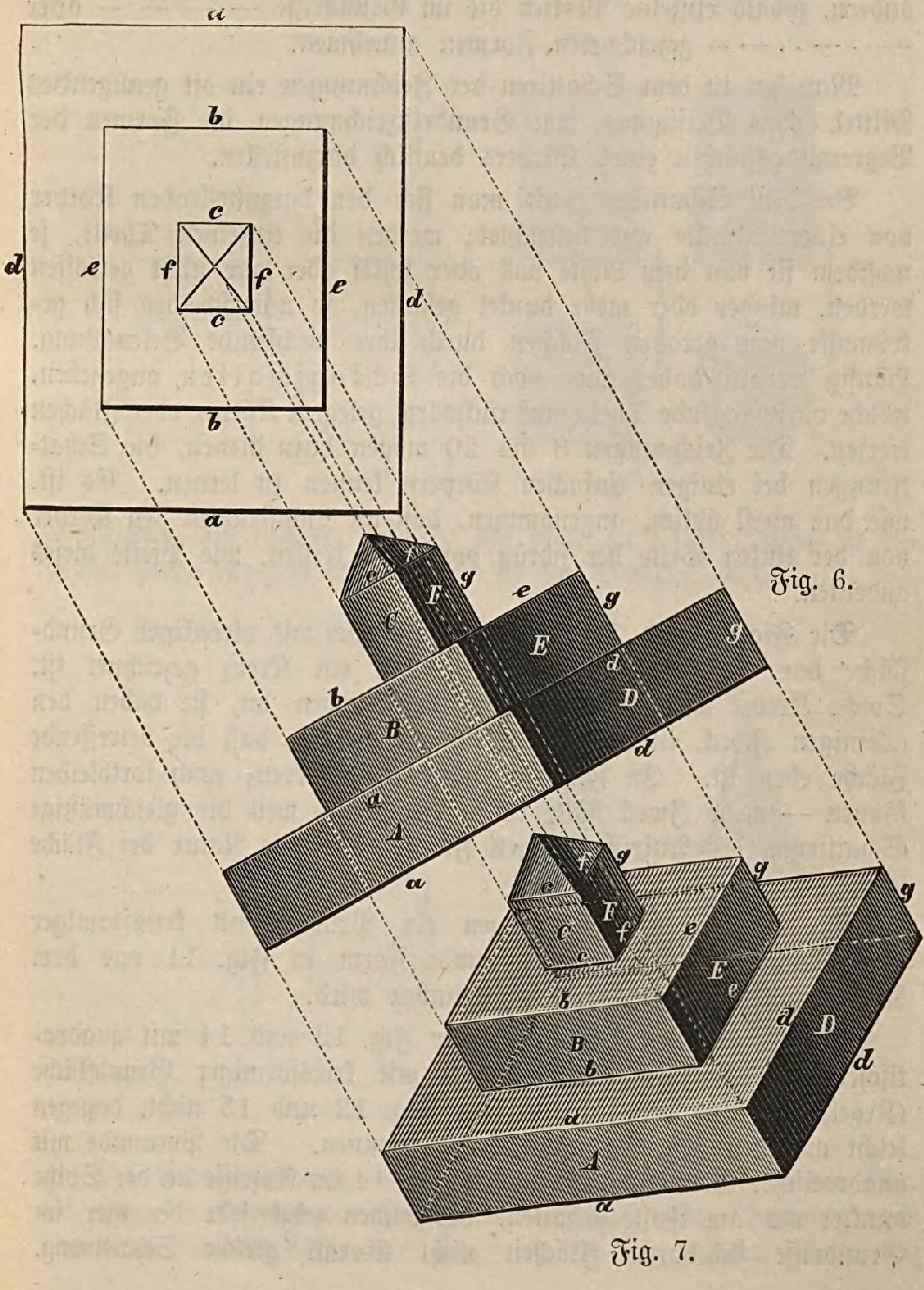


Fig. 6.

Fig. 7.

bekannt ist, daß die Platten durch lauter gerade Linien begrenzt werden. Findet die letztere Voraussetzung nicht statt, so wird zur sicheren Bestimmung der Formen des Körpers die Grundrißzeichnung, Fig. 4, erforderlich, weil sich die Fig. 2 und 3 in keiner Weise ändern, sobald einzelne Platten die im Grundrisse — — — — oder —‥—‥—‥ gezeichneten Formen annehmen.

Man hat in dem Schattiren der Zeichnungen ein oft genügendes Mittel, ohne Beifügung von Grundrißzeichnungen die Formen der Begrenzungsflächen eines Körpers deutlich darzustellen.

Bei dem Schattiren denkt man sich den darzustellenden Körper von einem Punkte aus beleuchtet; werden die einzelnen Theile, je nachdem sie von dem Lichte voll oder schief oder gar nicht getroffen werden, minder oder mehr dunkel gehalten, so unterscheiden sich gekrümmte von geraden Flächen durch ihre wechselnde Beleuchtung. Häufig werden dabei auch noch die Schlagschatten angegeben, welche vorspringende Theile auf rückwärts gelegene Körper oder Flächen werfen. Die Zeichnungen 8 bis 20 mögen dazu dienen, die Schattirungen bei einigen einfachen Körpern kennen zu lernen. Es ist, wie das meist üblich, angenommen, daß die Lichtstrahlen den Körper von der linken Seite her schräg von vorn treffen, wie Pfeile dieses andeuten.

Die Fig. 8 und 10 stellen ein Prisma mit viereckiger Grundfläche dar, in dessen Aufriß, Fig. 10, ein Kreuz gezeichnet ist. Solche Kreuze wendet man häufig bei Flächen an, sie haben den alleinigen Zweck, in einfacher Weise anzudeuten, daß die betreffende Fläche eben ist. In Fig. 10 hätte dieses Kreuz auch fortbleiben können — mehr Zweck hätte es in Fig. 8 — weil die gleichmäßige Schattirung des Aufrisses keinen Zweifel über die Natur der Fläche läßt.

Die Fig. 9 und 11 zeigen ein Prisma mit kreisförmiger Grundfläche (Cylinder), dessen runde Form in Fig. 11 aus dem Aufrisse allein bereits deutlich erkennbar wird.

Die Formen der Pyramiden der Fig. 12 und 14 mit quadratischer, und der Fig. 13 und 15 mit kreisförmiger Grundfläche (Kegel) sind aus den Aufrissen der Fig. 12 und 13 nicht, dagegen leicht aus den Fig. 14 und 15 zu erkennen. Die Pyramide mit quadratischer Grundfläche ist in der Fig. 14 im Aufrisse an der Spitze dunkler als am Fuße gehalten, desgleichen zeigt jede der vier im Grundrisse sichtbaren Flächen nicht überall gleiche Schattirung.

Dieses Verfahren hat den Zweck, durch die Schattirung kenntlich zu machen, welche Theile dem Auge des Beschauers näher und welche demselben entfernter liegen. Es ist üblich, Flächen, welche weiter

Fig. 8.

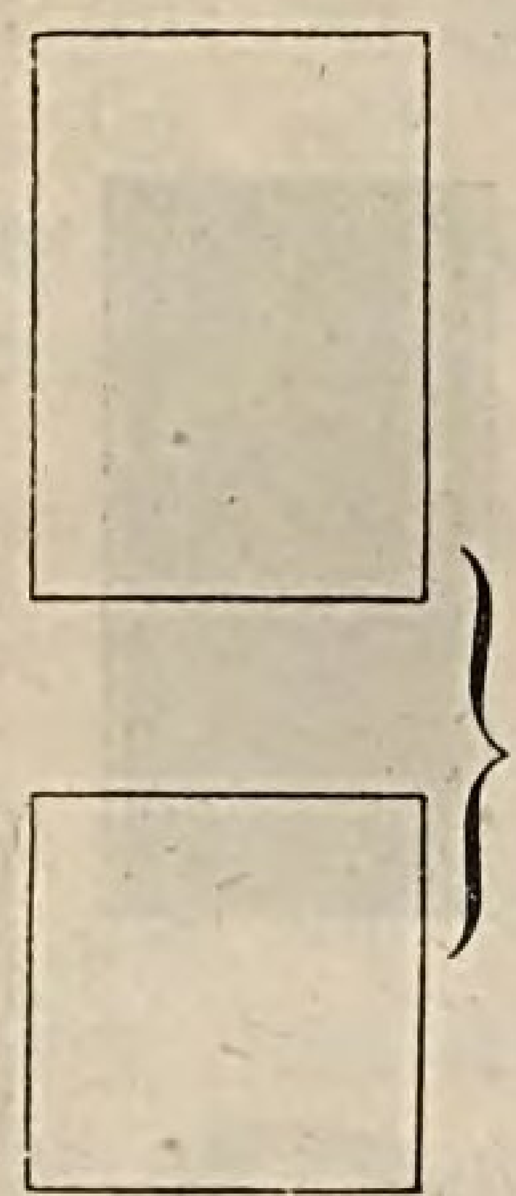


Fig. 9.

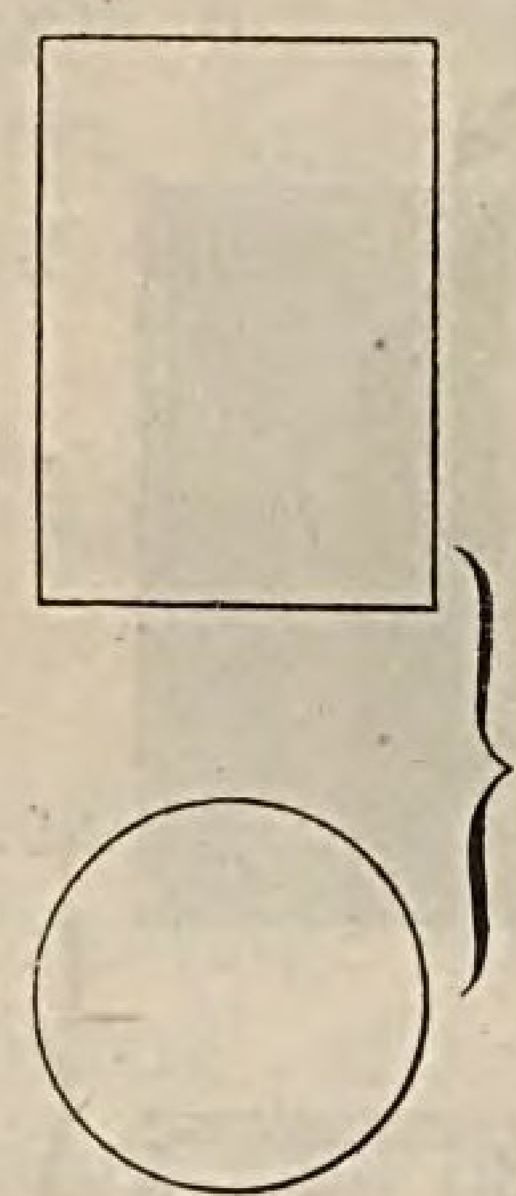


Fig. 10.

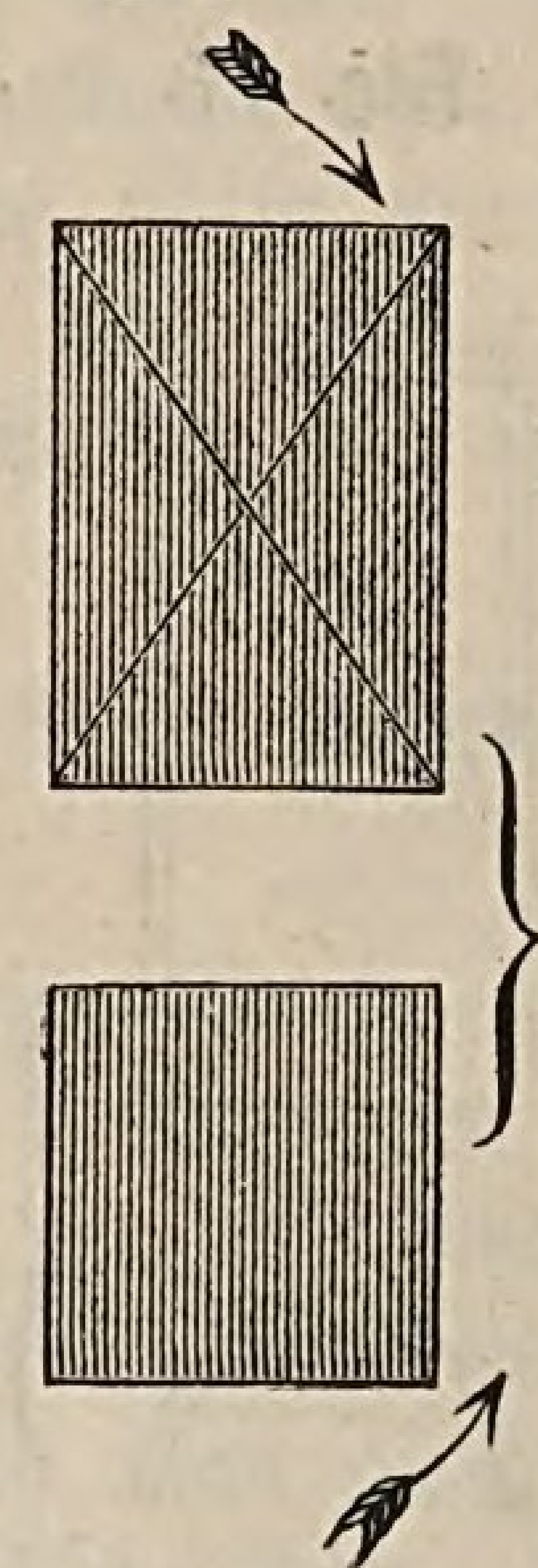
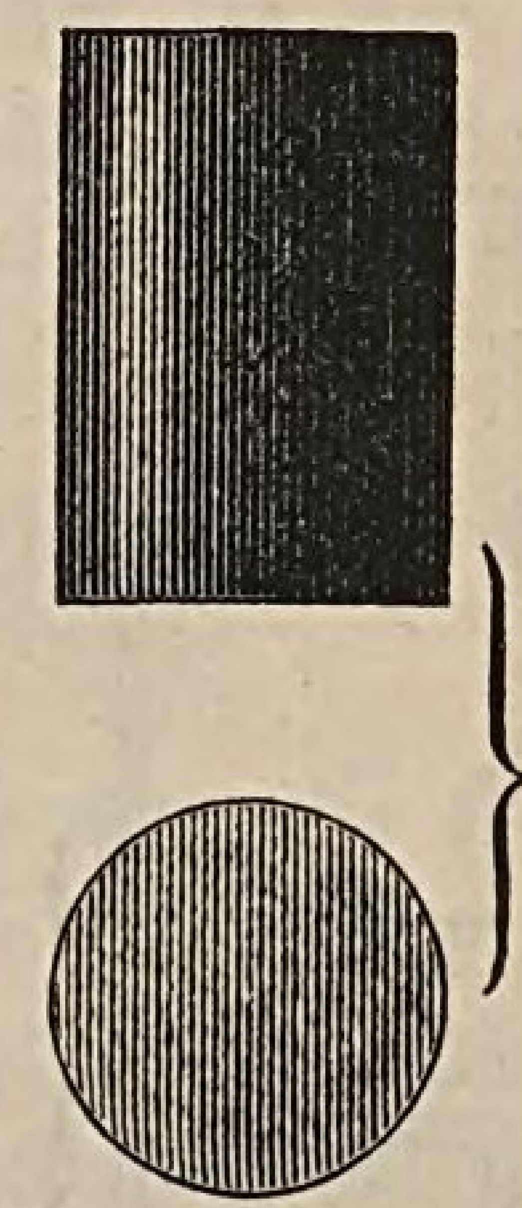


Fig. 11.



zurückliegen als andere, dunkler als diese zu halten, wenn sie beleuchtet sind, dagegen heller, wenn sie im Schatten liegen.

Fig. 12.

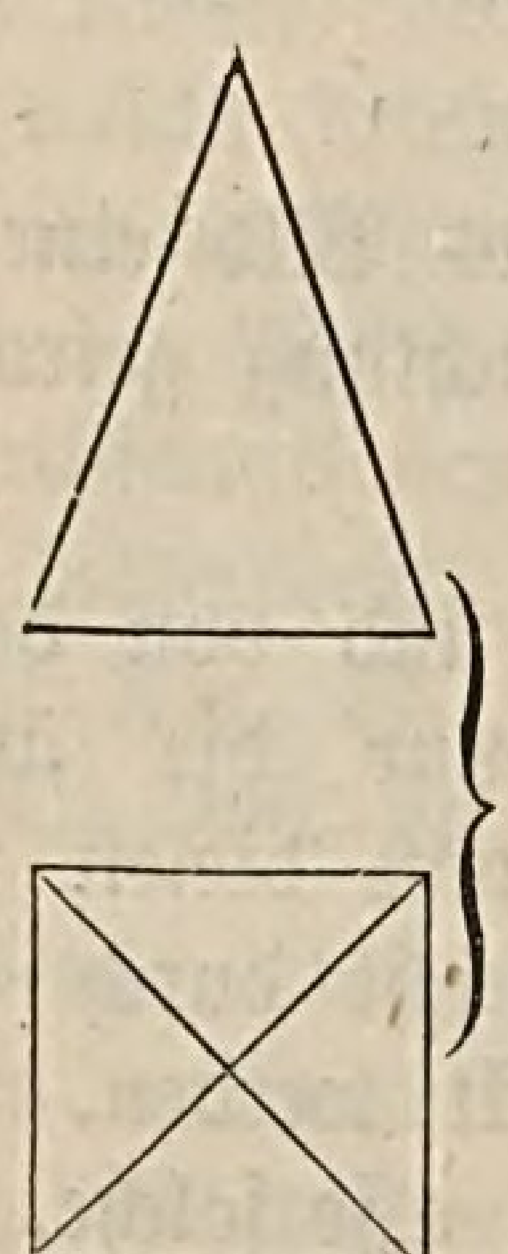


Fig. 13.

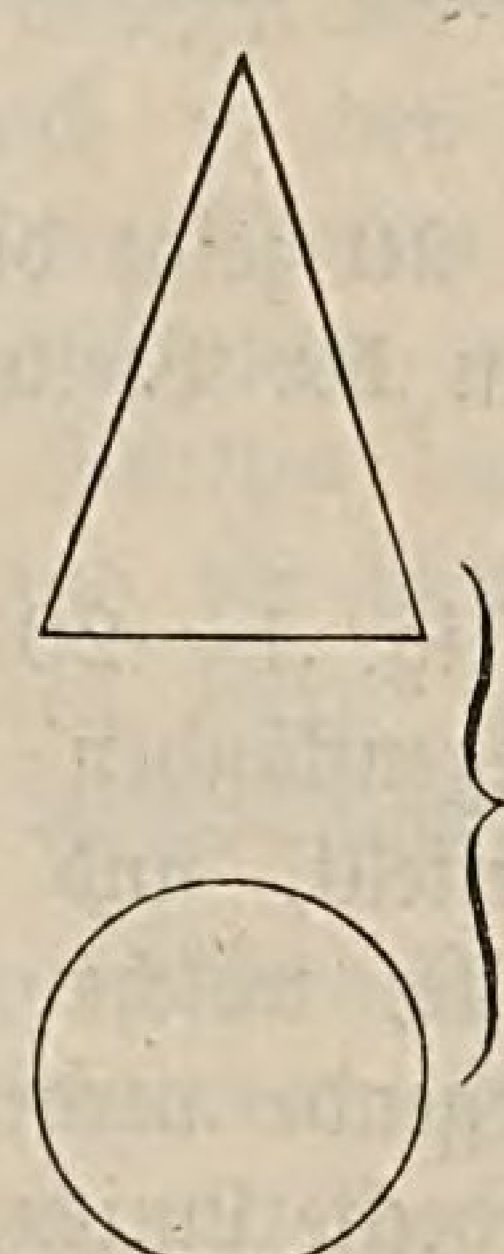


Fig. 14.

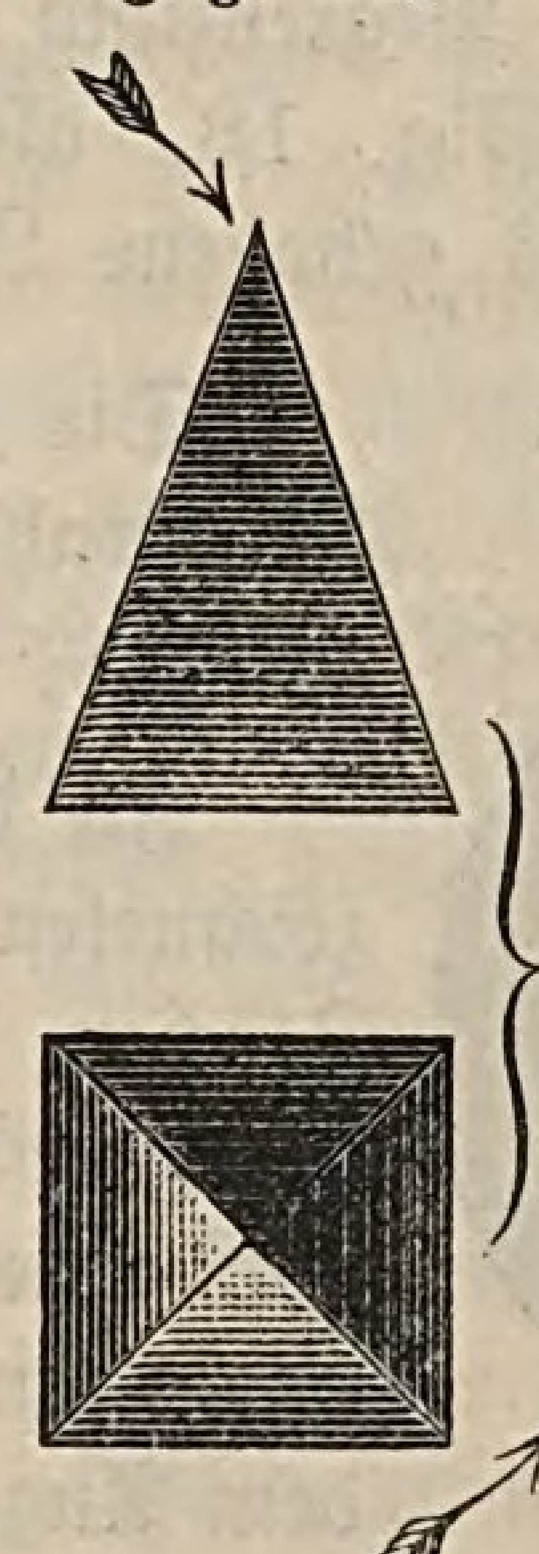
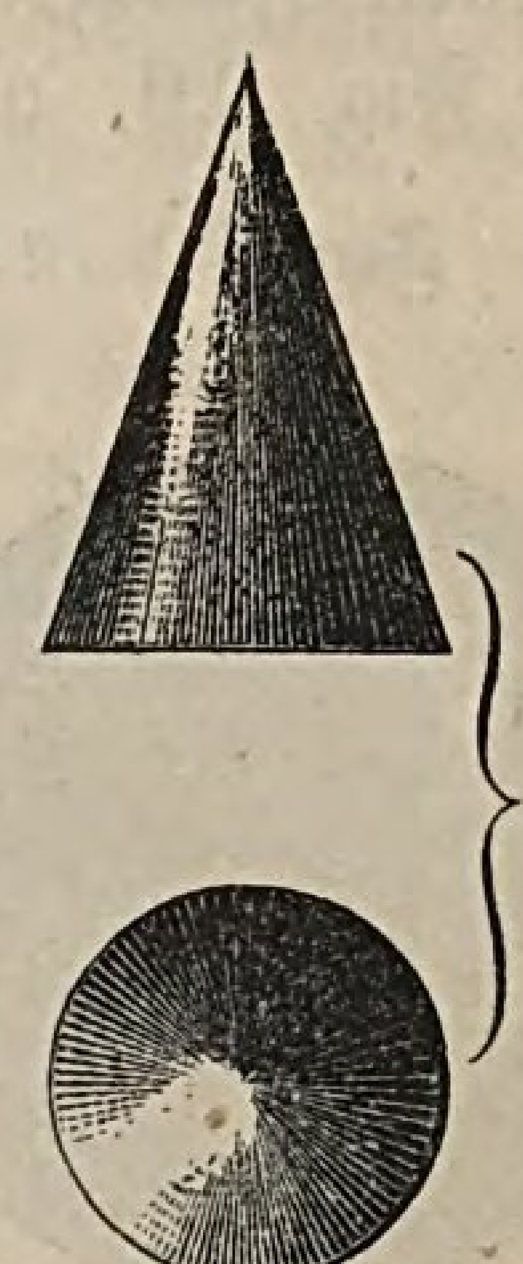


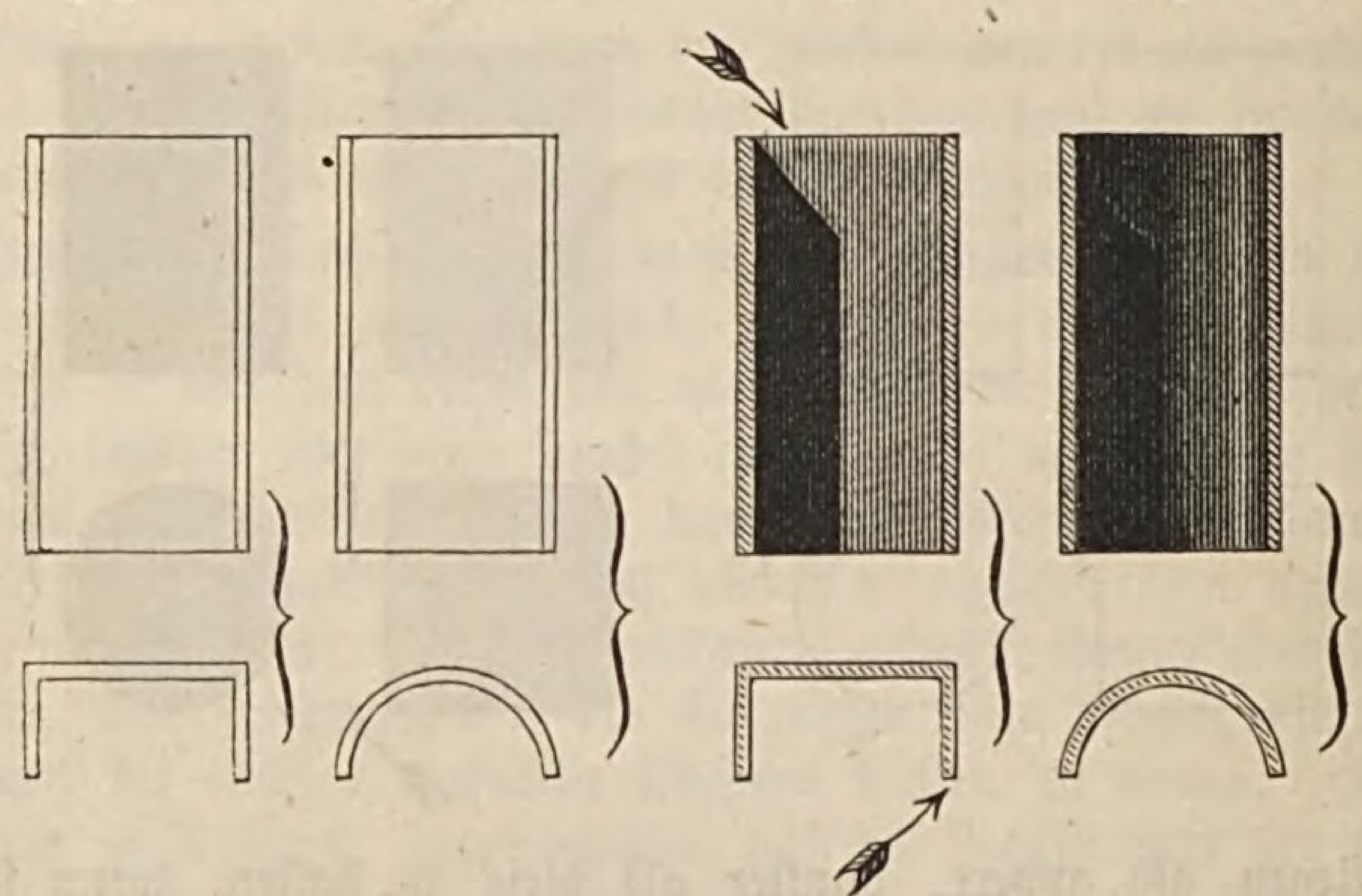
Fig. 15.



Die Schattenbildung bei hohlen Körpern wird aus den Fig. 18 und 19 erkennbar. Während die nach dem Beschauer hin convexe Cylinderfläche der Fig. 11 an der rechten Seite am

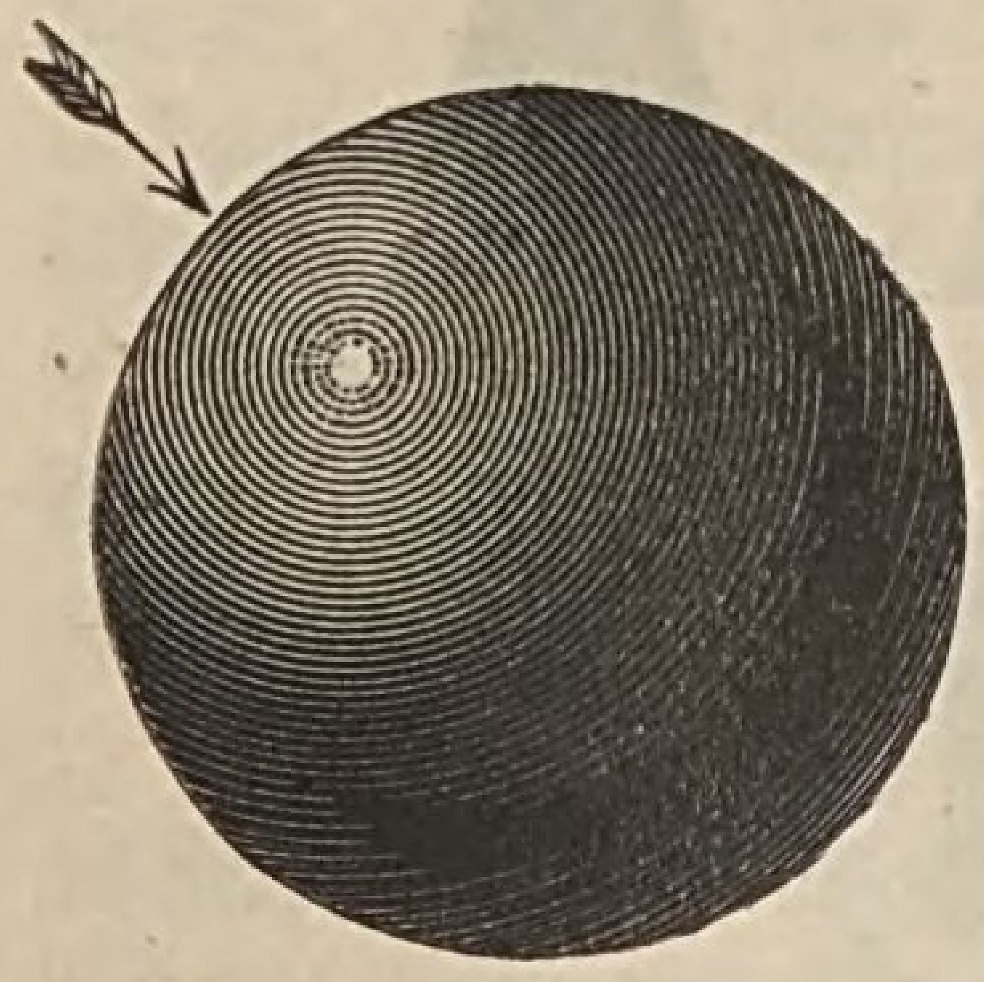
dunkelsten gehalten ist, fällt dahin auf die concave Fläche der Fig. 18 das meiste Licht, es zeigt also die Vertheilung des Lichtes „die Schattirung" an, ob die Fläche nach vorn oder nach rückwärts gekrümmt ist. Die links bei den Fig. 18 und 19 angegebenen

Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19.



dunklen Schraffirungen bezeichnen die Schlagschatten, welche die vorspringenden linken Seitenwände auf die Rückwände der Hohlcylinder werfen. Die obere Begrenzung dieses Schlagschattens erscheint auf der ebenen Fläche, Fig. 18, als gerade und auf der gekrümmten Fläche, Fig. 19, als gebogene Linie.

Fig. 20.



Die Fig. 20 zeigt das Bild einer von Lichtstrahlen in der Pfeilrichtung getroffenen Kugel.

In den Fig. 1—20 sind von den gezeichneten Gegenständen nur die äußeren Flächen dargestellt, und von diesen wieder nur die Theile, welche nicht durch andere vor ihnen liegende verdeckt werden. Man pflegt nun verdeckte Linien, also solche, welche dem Auge des Beschauers nicht sichtbar sind, punktirt .... oder gestrichen — — — — — — — zu zeichnen, wie das für die verdeckt liegenden Kanten der unteren Platte in den Fig. 1 und 7 geschehen ist. Dieses Mittel ist jedoch nur für einfachere Formen anwendbar, weil andernfalls die große Zahl

der ausgezogenen und der punktirten bezw. gestrichenen Linien verwirrt uud das Bild undeutlich macht. Kommt, wie das häufig der Fall ist, auch die innere Beschaffenheit eines Körpers in Frage, so führt der Weg einfacher und zweckmäßiger in der Weise zum Ziele, daß man den Körper durchschnitten darstellt. Ob die Natur des Körpers ein Durchschneiden wirklich gestattet oder nicht, darauf kommt es nicht an; der Zweck der Zeichnung ist ja nur der, in dem Bilde, wie es sich nach der Ausführung der Operation dem Beschauer darstellen würde, die innere Einrichtung und Gestalt des Körpers zu verdeutlichen.

Das Verfahren soll wieder an einem Beispiele deutlich gemacht werden.

Die Fig. 21 und 22 stellen eine Birne im Aufrisse (Seitenansicht) und im Grundrisse (obere Ansicht) dar. Die innere Beschaffenheit eines Körpers, also hier bei der Birne insbesondere das Kernhaus, ist von außen nicht zu erkennen, die beiden Fig. 21 und 22 geben darüber keinen Aufschluß. Will man auch das Innere kennen lernen, so muß man die Birne durchschneiden. Die Fig. 23 zeigt das Bild der in ihrer Länge nach der Linie C D durchschnittenen Birne, und die Fig. 24 die obere Ansicht derselben, wenn sie nach der Linie A B durchschnitten wird.

Man pflegt bei Durchschnittsfiguren, wie Fig. 23 und 24, diejenigen Theile, bei welchen der Schnitt auf das Material des Körpers trifft, welche demnach in der Ebene des Schnittes liegen, vor den hinter ihnen liegenden Theilen kenntlich zu machen. Meist geschieht das in der Weise, daß man, wie in den Fig. 23 und 24 geschehen, die durchschnittenen Partien durch Schraffur oder durch Anlegen mit Farbe hervorhebt, und die hinter der Schnittfläche liegenden Theile, also in Fig. 23 den Kern und dessen hintere Umgebung, ebenso behandelt, wie die Außenflächen in den Fig. 21 und 22.

Ebenso, wie zur Veranschaulichung der äußeren Form eines Körpers mehrere Figuren oder die Schattirung nöthig werden können, ist das auch mit der Darstellung der inneren Einrichtung mit Hülfe von Durchschnittsfiguren der Fall; es werden meist mehrere Schnitte erforderlich. So gab der Längendurchschnitt der Birne, Fig. 23, keinen Aufschluß über die Zahl der Kerne, und der Querdurchschnitt, Fig. 24, nicht über die Ausdehnung des Kernhauses nach dem Stiele und der Blume der Birne hin. Für einen

vollständigen Aufschluß nach beiden Richtungen hin sind **beide** Durchschnittsfiguren 23 und 24 nothwendig.

Um einen Körper nach allen Richtungen hin aus der Zeichnung sicher erkennen zu können, bedarf es in der Mehrzahl der Fälle nicht nur verschiedener Ansichtzeichnungen, sondern außerdem noch mehrerer Durchschnittsfiguren.

Fig. 21.

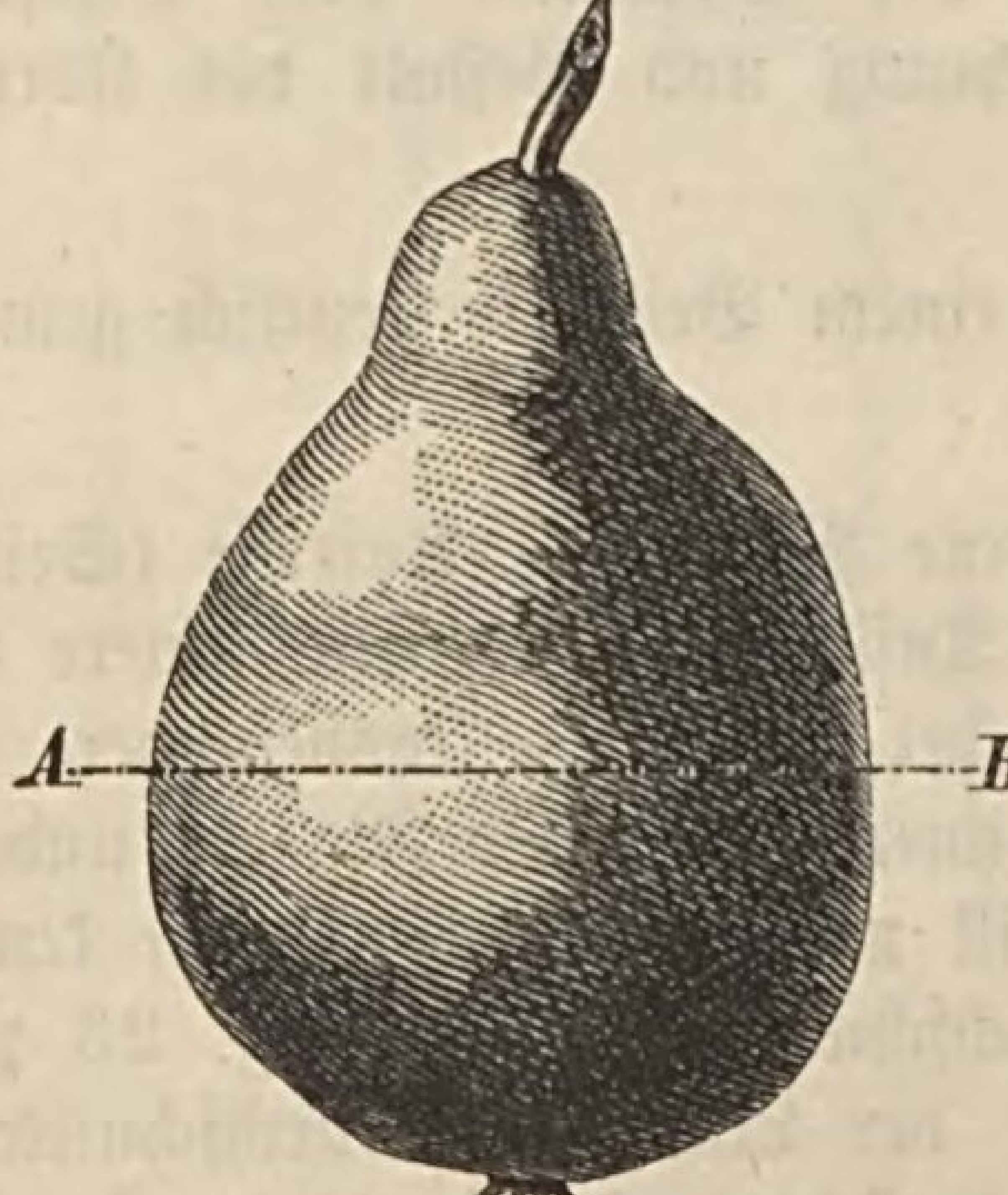
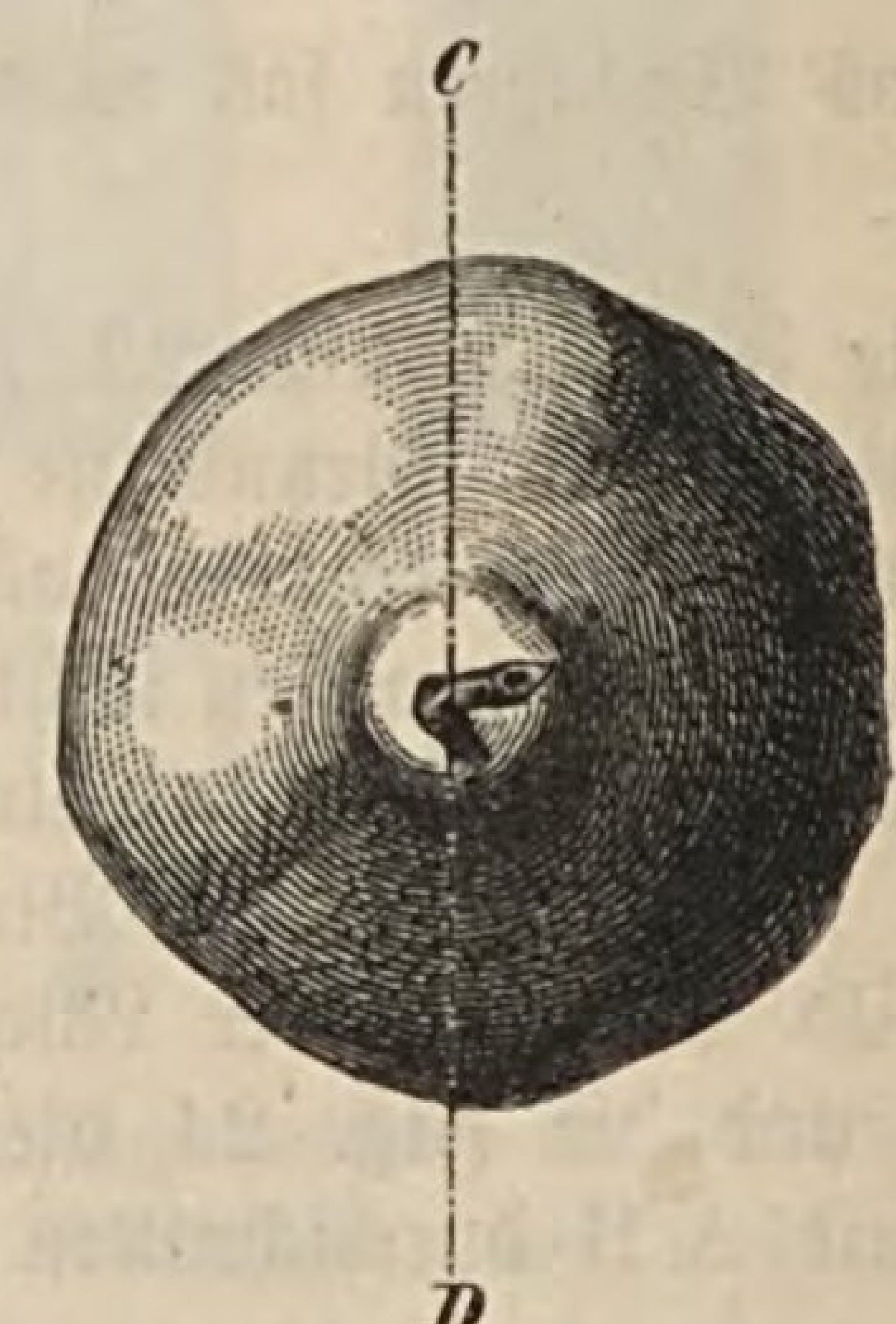


Fig. 22.



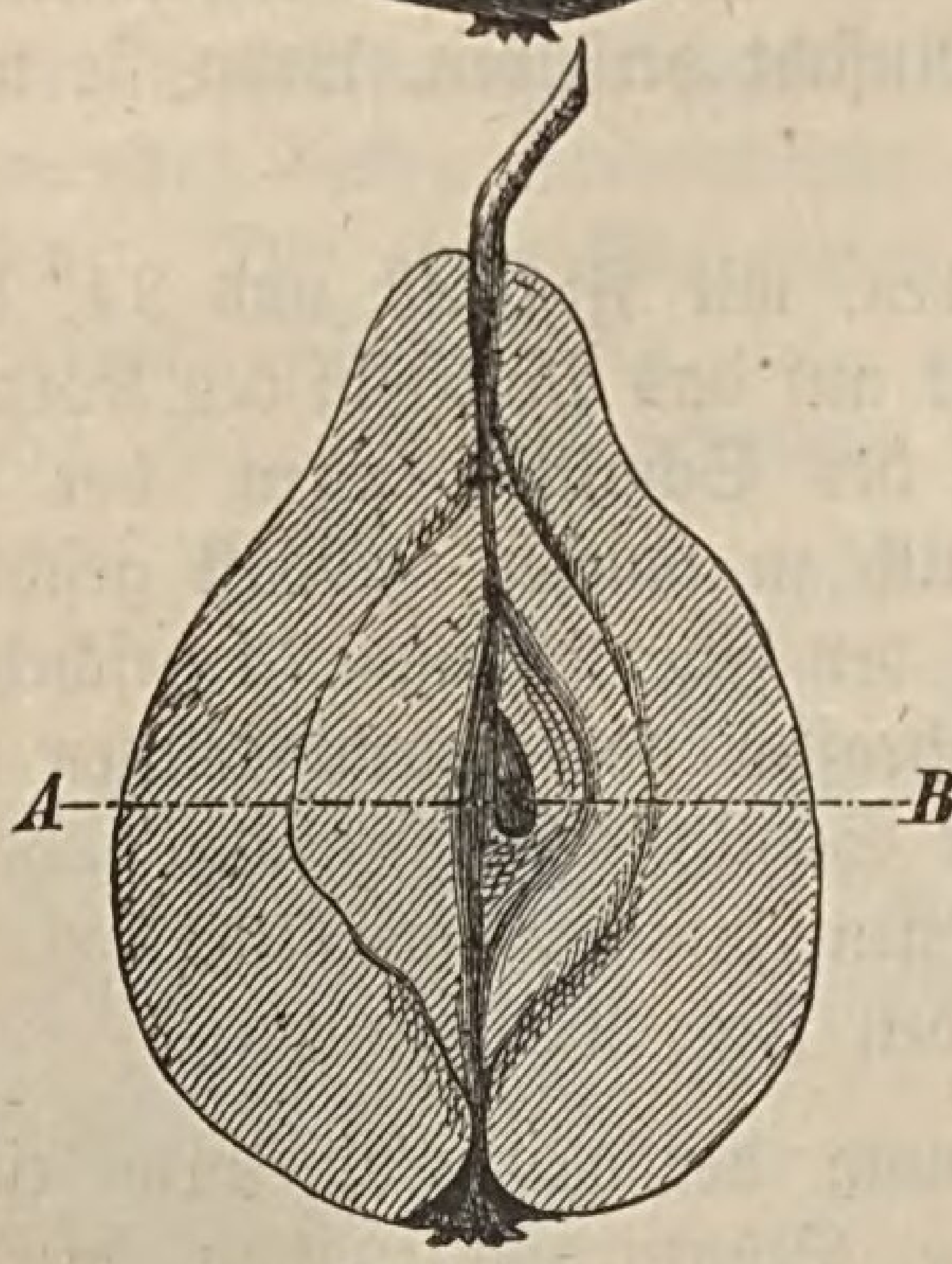


Fig. 23.

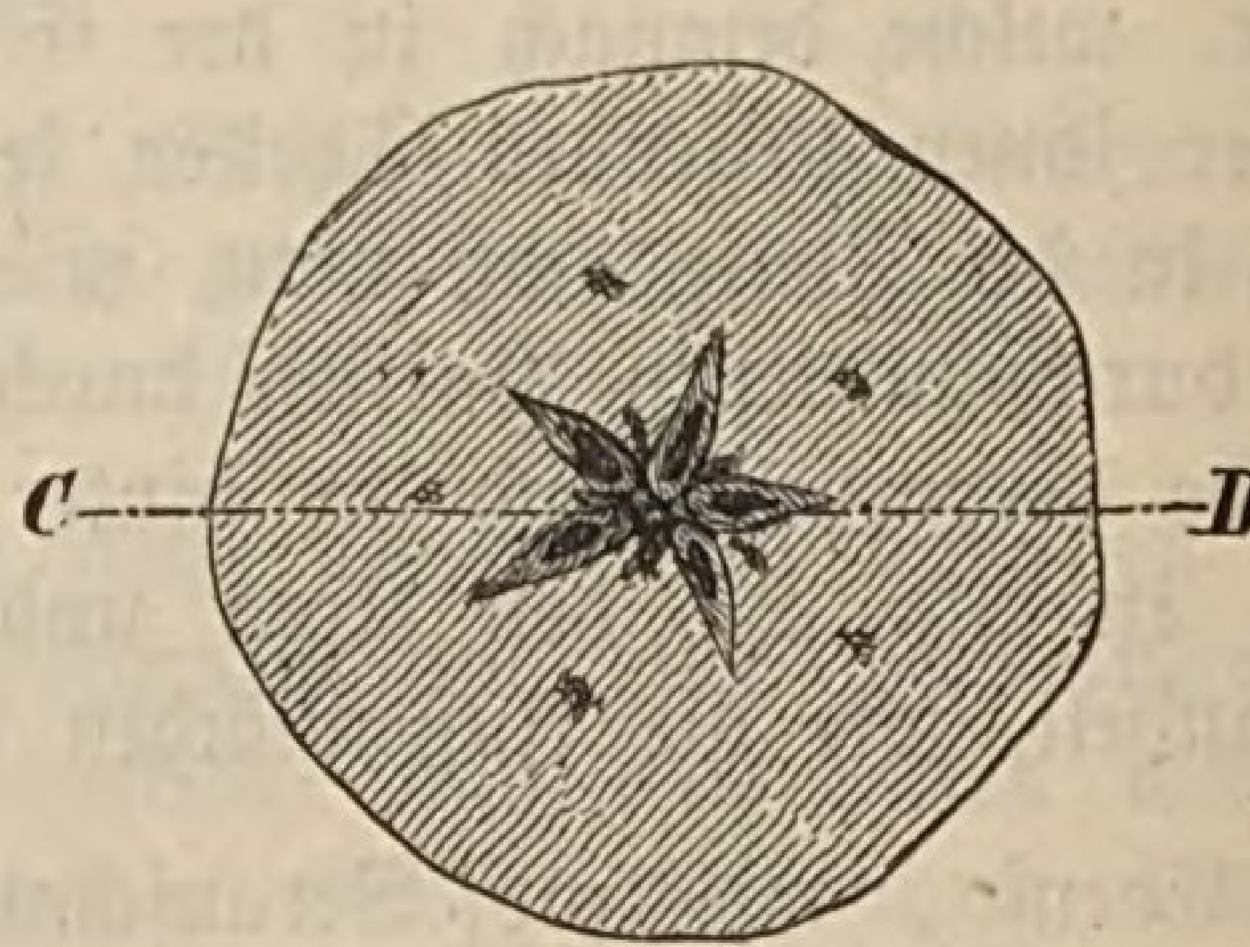


Fig. 24.

Es soll das in jedem Falle Erforderliche an einigen Beispielen klar gemacht werden.

Die Fig. 25 und 26 stellen einen Cylinder in der Ansicht und im Grundrisse dar. Um zu erkennen, ob dieser Cylinder hohl oder massiv ist, bedarf es der Durchschnittsfigur 27 (Längsschnitt), welche

aber allein noch nicht genügt, da sie wohl die Höhlung, aber nicht deren Form erkennen läßt. Es muß zur vollständigen Erkennung der (inneren) Form des Cylinders noch ein Querschnitt nach C D gegeben werden, welcher die Form der Höhlung genau angiebt, die wie in Fig. 28, 29 oder 30 und auch noch anders sein kann, für alle diese Figuren paßt der Längsschnitt Fig. 27.

Fig. 25 u. 26.

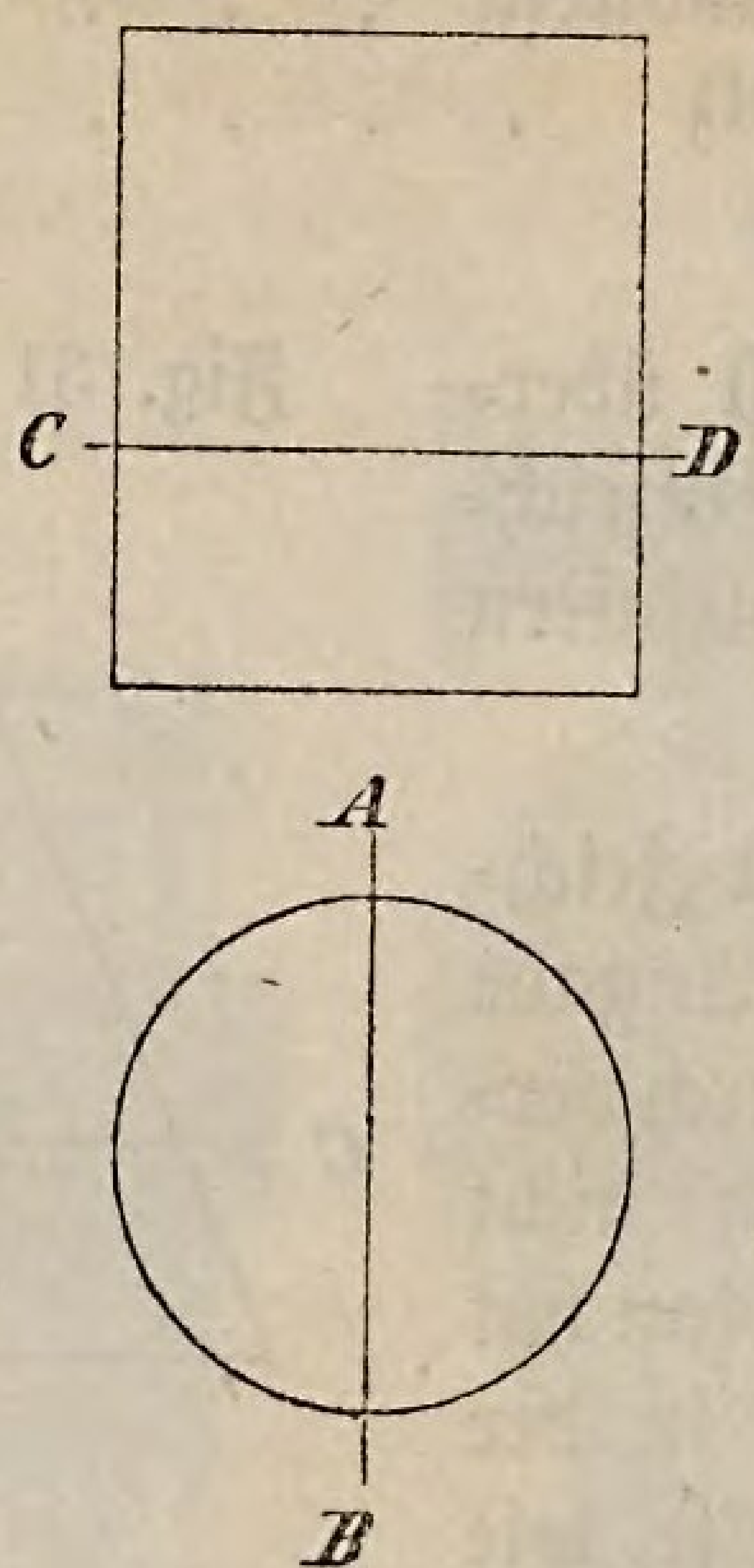
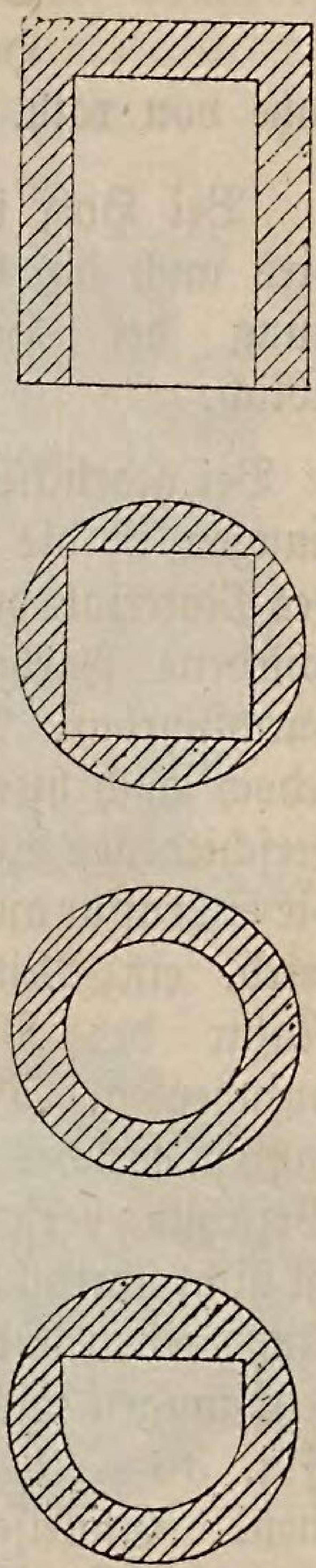


Fig. 27—30.



Die Fig. 31 und 32 stellen einen abgestumpften Kegel in der Seiten- und der oberen Ansicht dar, die Fig. 33 einen Schnitt desselben nach der Linie A B. Es ist wiederum klar, daß der Querschnitt der Höhlung die verschiedensten Formen haben kann, ohne daß sich die Fig. 33 ändert. Die nicht schraffirte Stelle im Boden des Kegels deutet an, daß der Schnitt dort nicht auf Material getroffen hat, daß sich also ein Loch in der Bodenplatte befindet, welches von einer wulstförmigen Erhöhung eingefaßt ist. Außer der Querschnittsform des Kegels ist nun auch noch die Gestalt dieses Loches zu bestimmen, was durch den zweiten Querschnitt nach der Linie C D gleich mit bewirkt wird. Unter anderen kann dieser Querschnitt auch die Gestalt der Fig. 34 oder 35 annehmen.

Das Anlegen der Querschnittsflächen mit Farben giebt Gelegenheit, zugleich das Material, aus welchem der dargestellte Körper besteht oder bestehen soll, zu kennzeichnen.

In der Regel werden die verschiedenen Materialien durch folgende Farben bezeichnet.

Gußeisen	grau
Schmiedeisen . . .	blau
Stahl	violett
Messing	gelb
Kupfer	karminroth.

Backstein . . . . zinnoberroth
Sandstein . . . . hellgelb
Holz . . . . . gelb mit einem geringen Zusatze von roth.

Bei Holz ist überdies auch die Einzeichnung der Holzfasern üblich.

Bei gedruckten Zeichnungen ist die Angabe des Materials durch verschiedene Farben nicht durchführbar. Man hat jedoch auch hier in der verschiedenen Weise, wie die Schraffur ausgeführt wird, ein Mittel, die Natur des Materials anzudeuten. Das Verfahren, welches in dieser Beziehung verfolgt wird, ist nicht überall dasselbe. Am meisten dürften Bezeichnungen wie in den Fig. 36—41 vorkommen. Gußeisen wird, wenn die Durchschnittsflächen nicht zu groß sind, gleichmäßig schwarz angelegt, größere Flächen dagegen sind mit abwechselnd starken und schwachen Linien schraffirt. Schmiedeisen bekommt eine gleichmäßige Schraffur, Messing oder Kupfer eine Schraffur von abwechselnd ausgezogenen und gestrichelten

Fig. 31 u. 32.

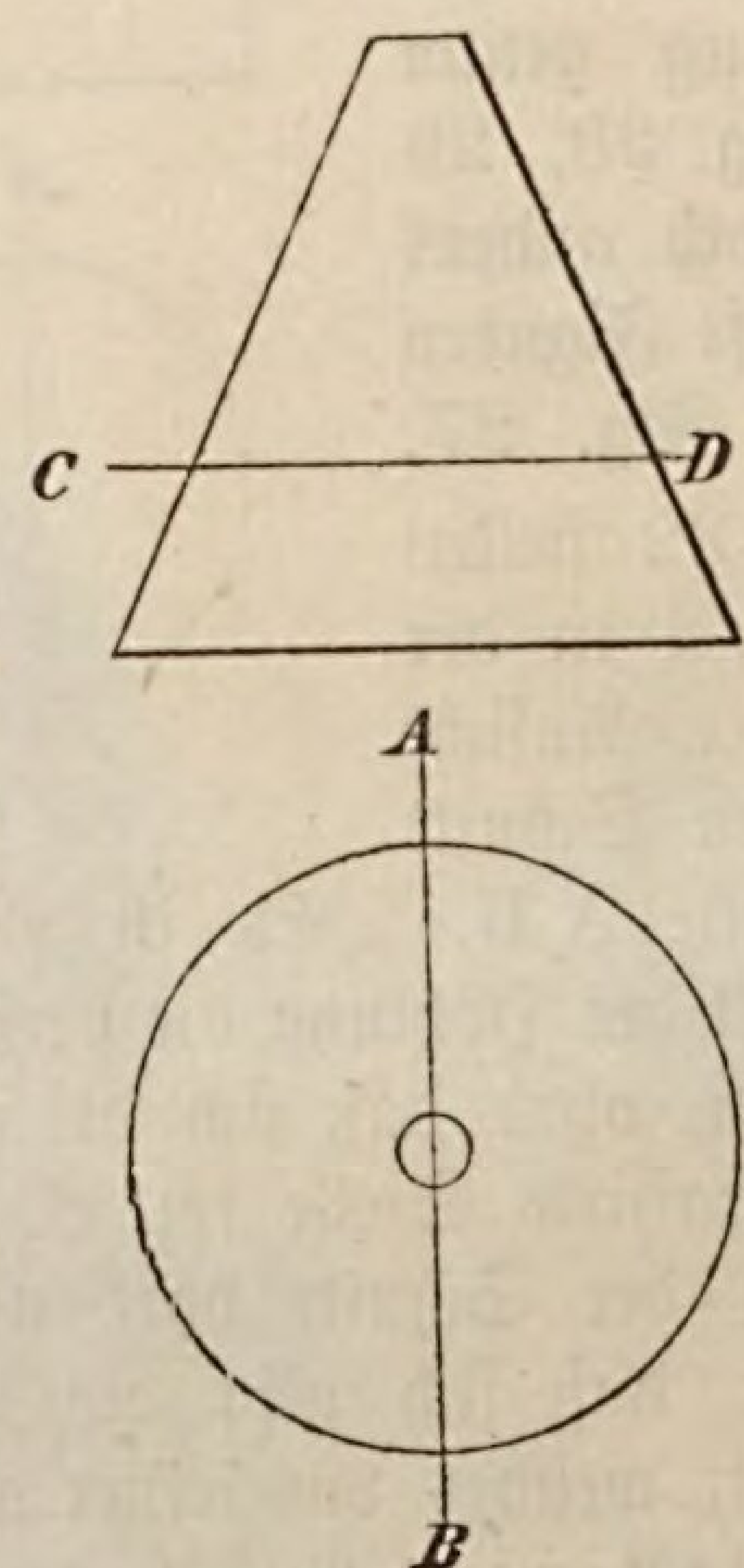


Fig. 33—35.

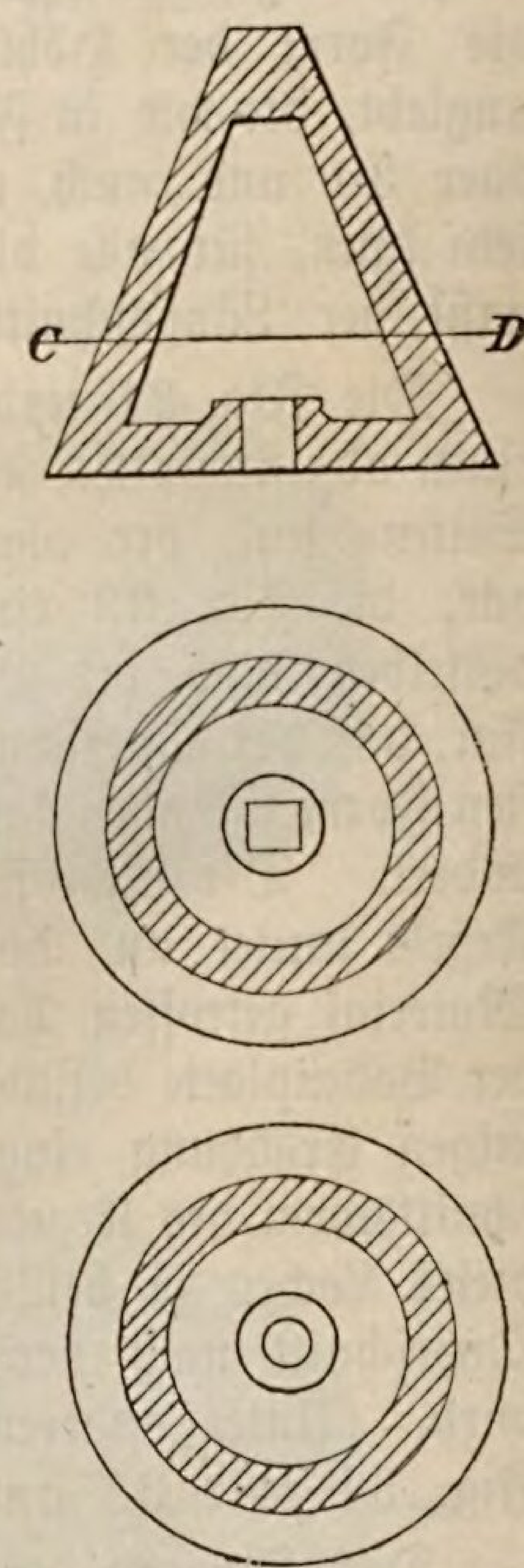
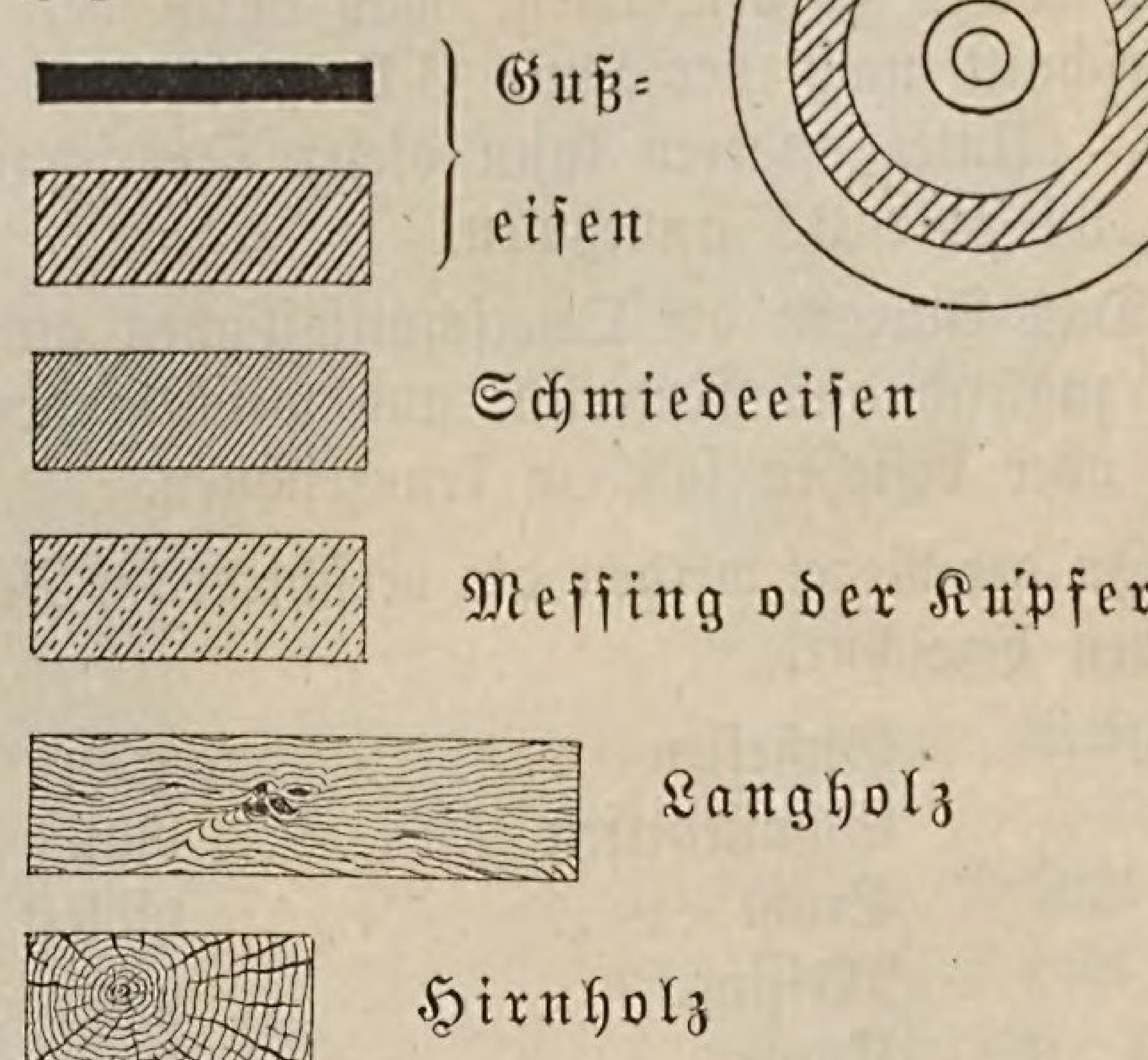


Fig. 41—45.



Linien. Holz wird durch Einzeichnung der Fasern gekennzeichnet, wobei die Richtung der Fasern angiebt, ob man es mit Langholz oder mit Hirnholz zu thun hat.

Fig. 42.

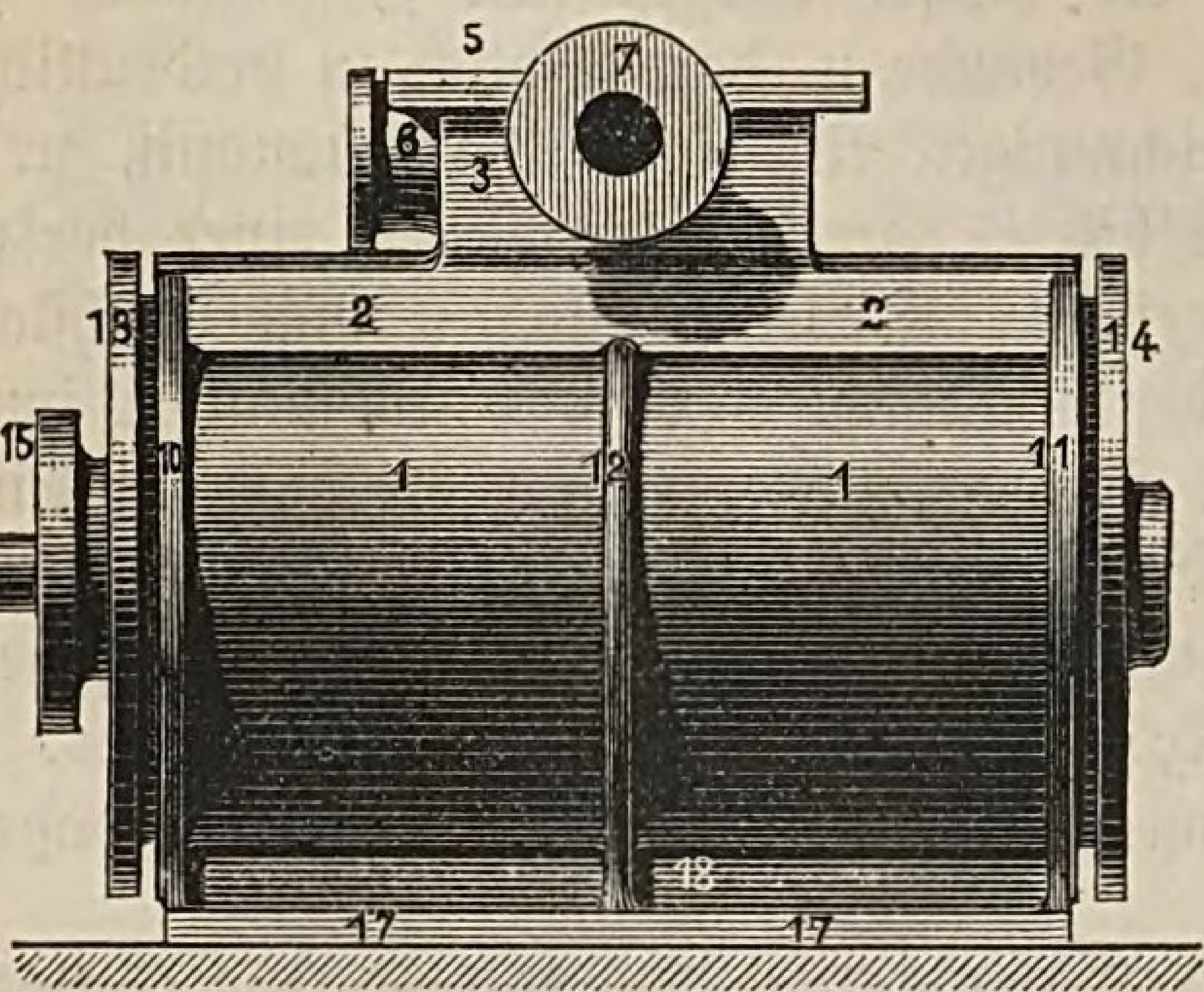


Fig. 43.

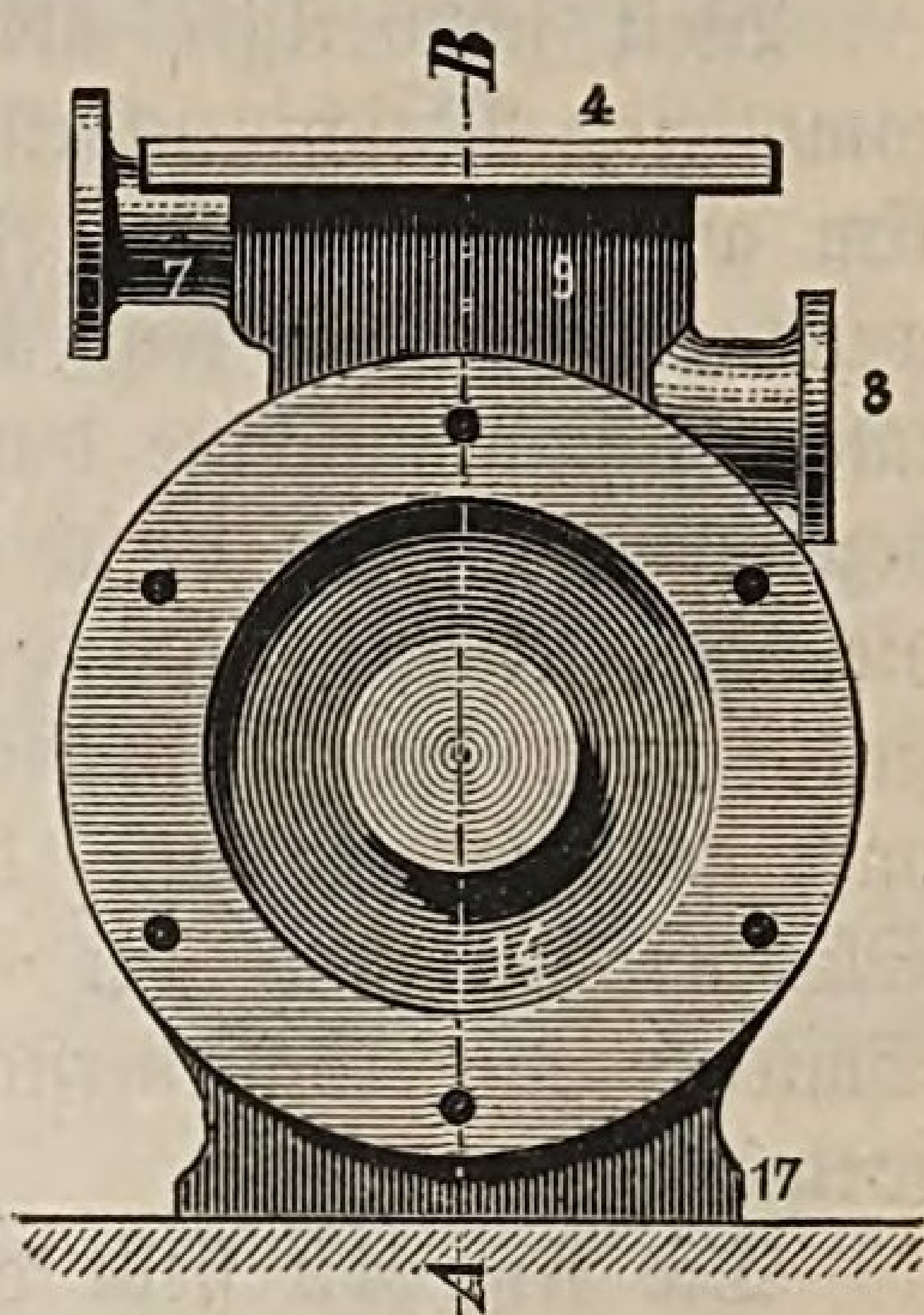


Fig. 44.

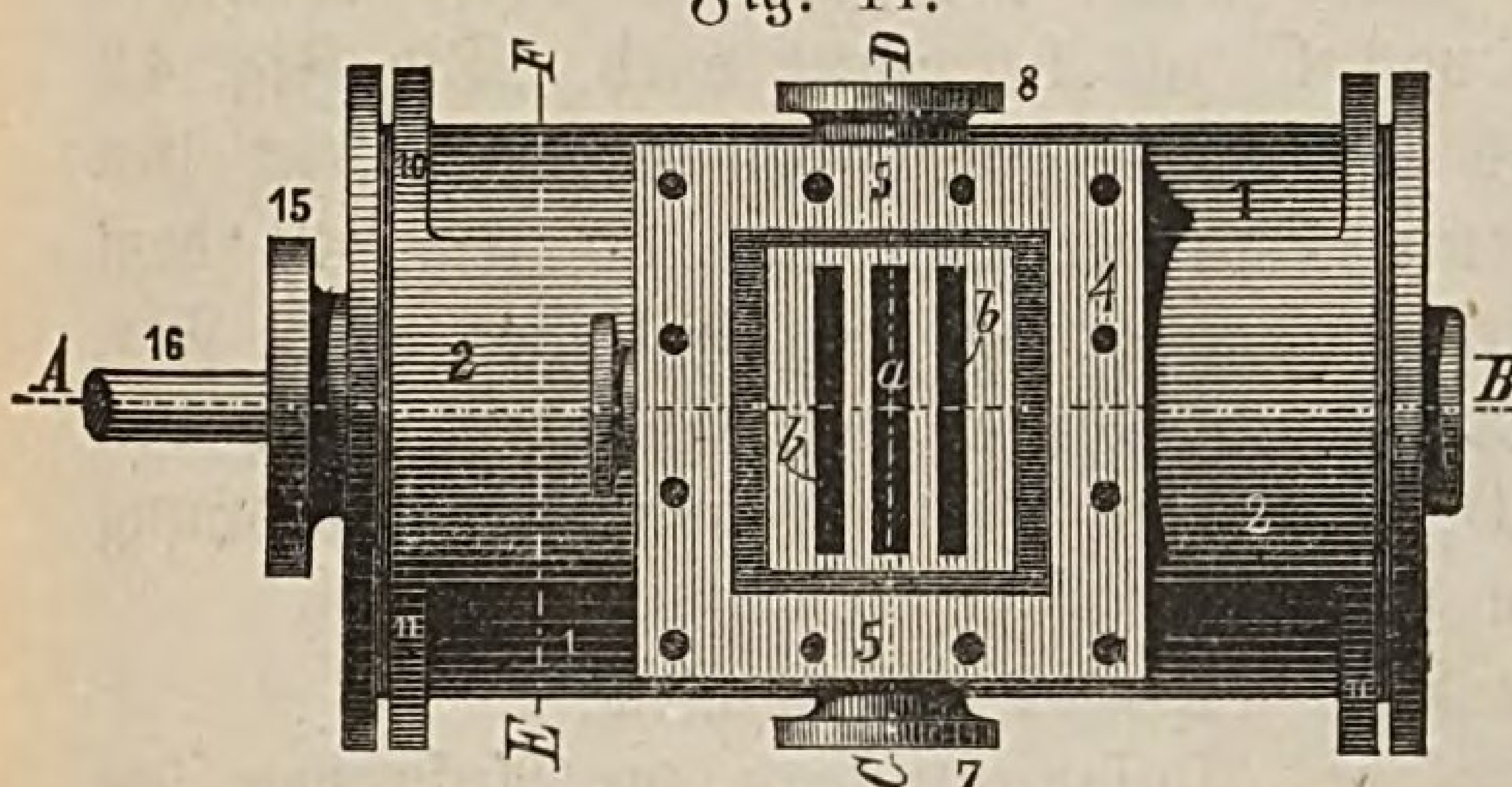


Fig. 45.

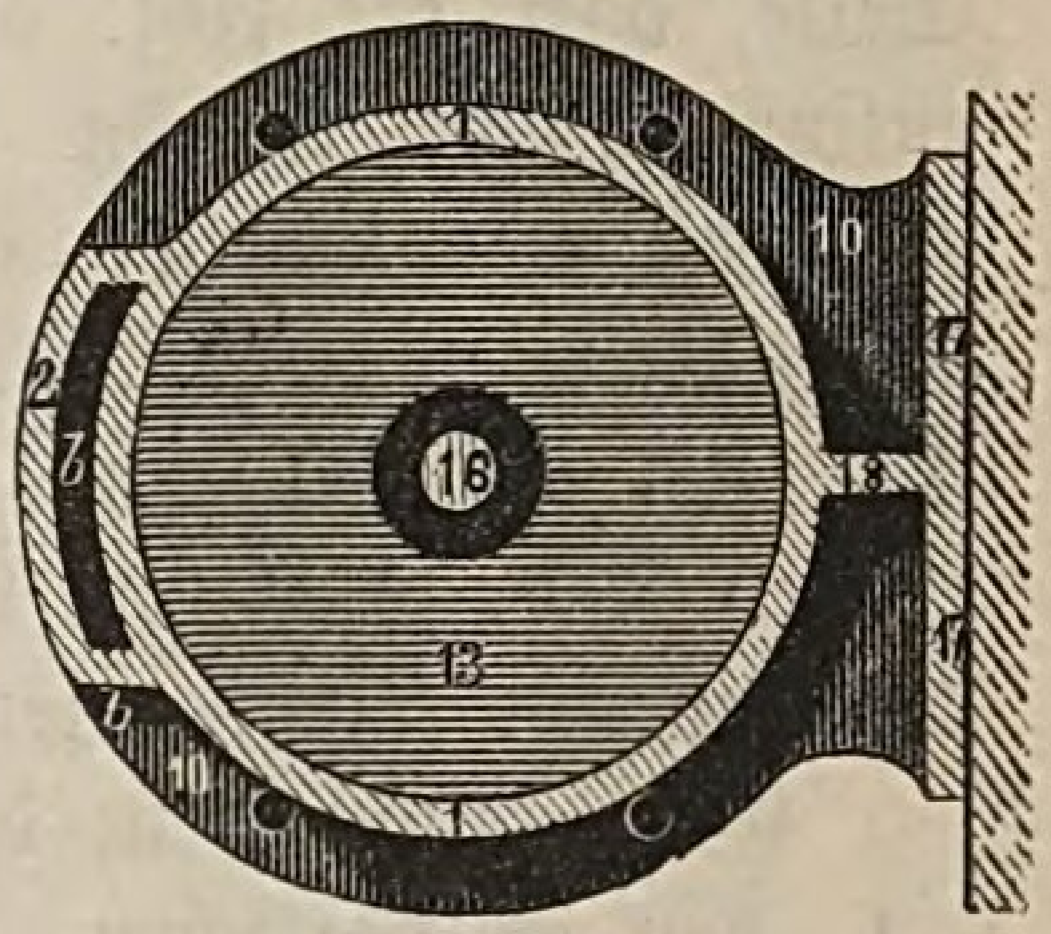


Fig. 46.

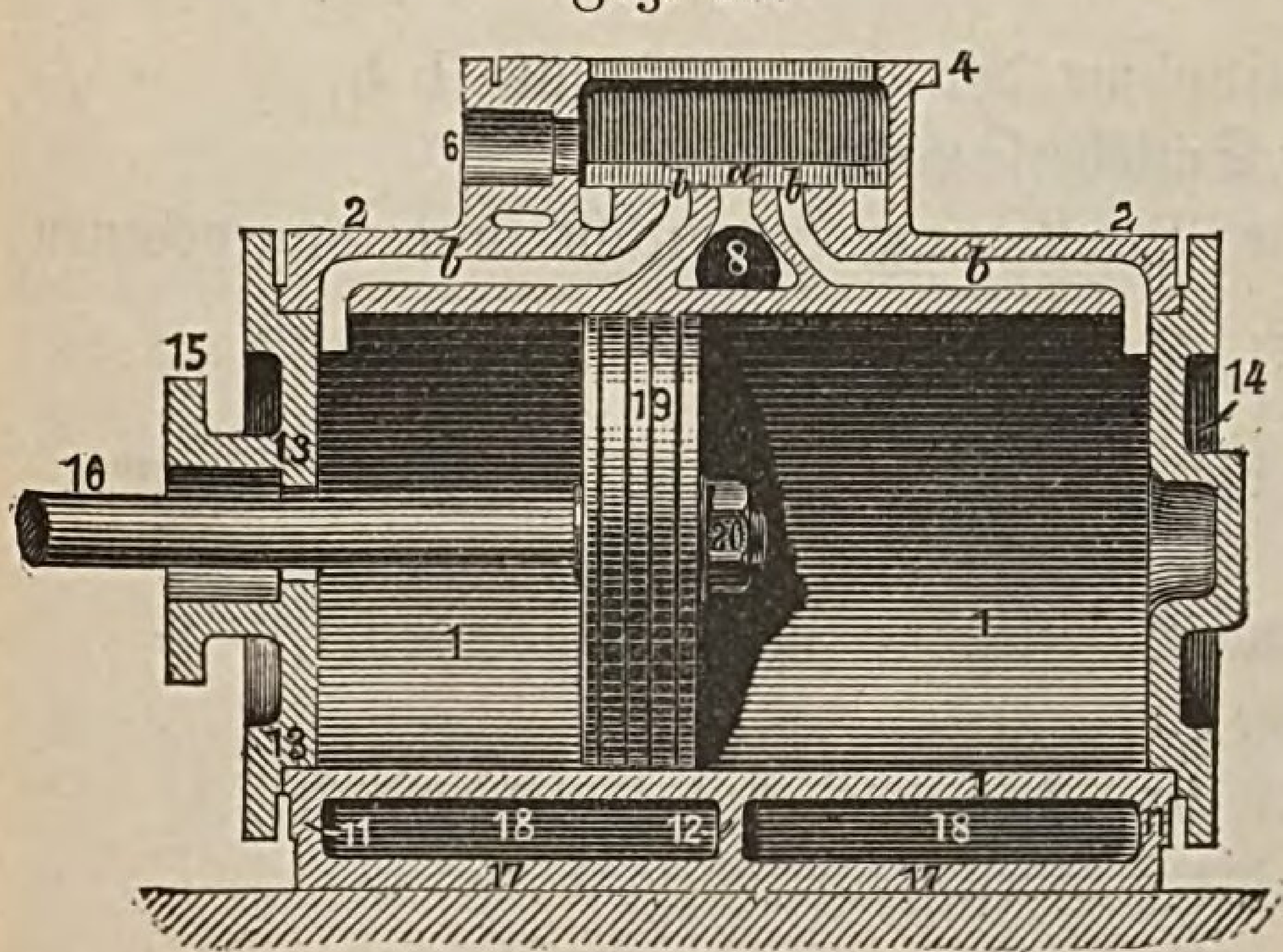
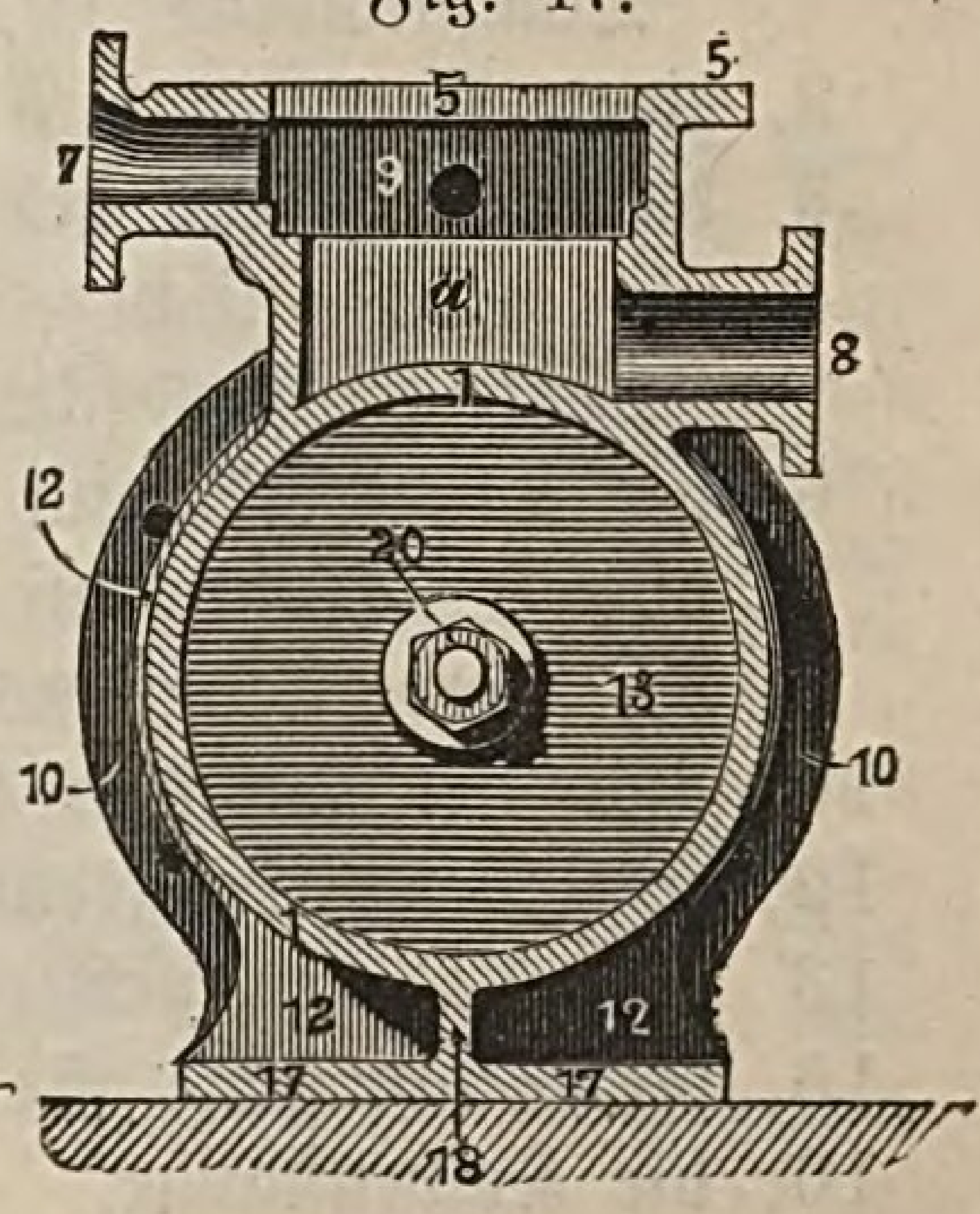


Fig. 47.



Es erübrigt noch zu bemerken, daß man die Richtung der Schraffurlinien bei der Darstellung verschiedener, nicht aus einem Stücke bestehender Theile einer Figur zu ändern pflegt, um diese einzelnen Theile besser gegeneinander hervorzuheben.

Weit schwieriger als die bisher dargestellten Gegenstände sind complicirte Maschinentheile, Gebäude u. dgl. bildlich zu verdeutlichen. Um auch für derartige Zeichnungen ein richtiges Verständniß zu erwecken, ist in den Fig. 42 bis 47 der Dampfcylinder einer horizontalen Dampfmaschine dargestellt. Dieselben Zahlen und Buchstaben bezeichnen in den verschiedenen Ansichten und Durchschnitten immer dieselben Theile. Um die Figuren nicht noch mehr zu compliciren, sind, außer dem Cylinder selbst mit angegossenem Schieberkasten, nur noch der vordere und hintere Cylinderdeckel mit den angegossenen Stopfbüchsen und der Kolben mit Kolbenstange angegeben, der Schieber mit Schieberstange und der Schieberkastendeckel dagegen fortgelassen.

Die Fig. 42 stellt die Seitenansicht (den Aufriß) des Cylinders dar, sie zeigt also dessen Bild, wenn die Fig. 43 von der linken Seite, oder die Fig. 44 von C aus betrachtet wird. Die Fig. 43 entspricht der Ansicht des Cylinders gegen den vorderen (in den Figuren mit 14 bezeichneten) Cylinderdeckel, und die Fig. 44 dem Grundrisse oder der Ansicht von oben auf den Cylinder. Die Fig. 45, 46 und 47 sind Durchschnittsfiguren des Cylinders nach den Linien E F, A B und C D, welche zur Verdeutlichung der Anordnung der inneren Theile dienen sollen.

Es bezeichnen in den Fig. 42—47 die Zahlen:

1, den cylindrischen Theil des Dampfcylinders zur Aufnahme des Dampfkolbens 19,
2, einen Anguß zur Aufnahme der Schieberkanäle b b,
3, die Seitenwand des Schieberkastens,
4 und 5, Flantsche zur Befestigung des nicht mit angegebenen Schieberkastendeckels,
6, die Stopfbüchse für die Schieberstange,
7 und 8, Stutzen für die Dampfein- und Dampfausströmung,
9, die Vorderfläche des Schieberkastens,
10 und 11, Flantsche zur Befestigung der Cylinderdeckel,
12, eine Verstärkungsrippe,
13 und 14, den hinteren und den vorderen Cylinderdeckel,
15, die Stopfbüchse für die Kolbenstange,
16, die Kolbenstange,

17, den zu seiner Befestigung auf dem Fundamente dienenden Fuß des Dampfcylinders,
18, eine Verstärkungsrippe für diesen Fuß,
19, den Dampfkolben,
20, die Mutter zur Befestigung des Dampfkolbens auf der Kolbenstange,
a, den Dampfausströmungscanal,
b und b, die beiden Dampfeinströmungscanäle.

II. Arithmetik.*)

Werden die drei Zahlen 3, 9 und 7 zusammen addirt, so entsteht die Summe 19, einerlei, in welcher Reihenfolge die Addition ausgeführt wird, denn es ist

$$9 + 3 + 7 = 19;\ 3 + 9 + 7 = 19;$$
$$7 + 9 + 3 = 19;\ 7 + 3 + 9 = 19.$$

Was aber für die Zahlen 3, 9 und 7 gilt, ist auch für jede andere drei Zahlen gültig. Stets bleibt die Summe der Zahlen dieselbe, einerlei, in welcher Reihenfolge die Addition vorgenommen wird.

Um dieses Gesetz kurz und bündig auszudrücken, bezeichnet man in der Arithmetik die Zahlen durch Buchstaben und schreibt

$$a + b + c = d;\ b + a + c = d;$$
$$c + a + b = d;\ c + b + a = d,$$

wobei d die Zahl ist, welche sich (ebenso wie oben die Zahl 19) nach Ausführung der Addition der drei Zahlen a, b und c ergiebt.

---

*) Anmerkung. Es soll durch diese Abhandlung nur das Verständniß für die fernerhin vorkommenden leichten Rechnungen und einfachen Formeln geweckt und namentlich klar gemacht werden, wie scharf und knapp Beziehungen, wie sie beispielsweise zwischen den Inhalten von Körpern und deren Dimensionen, zwischen Kraft, Geschwindigkeit, Weg und Arbeit, zwischen der Beanspruchung von Constructionstheilen und deren Dimensionen stattfinden, durch Buchstaben und mathematische Zeichen ausgedrückt werden können.

Zu diesem Zwecke genügte die Uebertragung der vier für Zahlen als bekannt vorausgesetzten Grundoperationen auf die Buchstabenrechnung. Eine strenge mathematische Begründung oder Ableiten der vorkommenden Formeln und der angeführten Gesetze war sowohl hier, als auch bei den ferneren Kapiteln über Geometrie und Mechanik durch den beschränkten zur Verfügung stehenden Raum ausgeschlossen.

Der Ausdruck

$$a + b + c = d$$

und jeder ähnliche Ausdruck, in welchem durch das „=" Zeichen ausgesprochen ist, daß zwei Größen (hier die Summe der drei Größen a, b und c und die Größe d) einander gleich sind, wird Gleichung oder Formel genannt.

Zieht man von beiden Seiten der Gleichung

$$9 + 3 + 7 = 19$$

eine beliebige Zahl, z. B. die Zahl 2 ab, so ändert sich sowohl die linke als auch die rechte Seite der Gleichung, die beiden neuen Ausdrücke sind jedoch wieder einander gleich, denn es ist

$$9 + 3 + 7 - 2 = 17 \text{ und}$$
$$19 - 2 = 17, \text{ also auch}$$
$$9 + 3 + 7 - 2 = 19 - 2.$$

Mit Hülfe von Buchstaben ausgedrückt lautet dieses Gesetz allgemein: Wenn

$$a + b + c = d \text{ ist, so ist auch}$$
$$a + d + c - m = d - m.$$

Es bleiben aber auch die beiden Seiten einer Gleichung einander gleich, wenn mit den betreffenden Zahlenwerthen andere, aber stets für beide Seiten der Gleichung gleiche Rechnenoperationen ausgeführt, wenn sie z. B. mit der gleichen Zahl multiplicirt oder durch sie getheilt werden. So ist

$$\frac{9 + 3 + 7}{2} = \frac{19}{2},$$

$$(9 + 3 + 7)\, 5 = 19 \,.\, 5$$

und allgemein, sobald $a + b + c = d$ ist, auch

$$\frac{a + b + c}{m} = \frac{d}{m} \text{ und}$$

$$(a + b + c)\, n = d \,.\, n.$$

Die Klammern um die Zahlen 9, 3 und 7 und um die Zahlenzeichen a, b und c besagen, daß die Zahlen vorher zusammengezählt werden sollen, ehe sie mit der außerhalb der Klammer stehenden Zahl 5 und n zu multipliciren sind. Es wird aber an dem Resultate der Rechnung nichts geändert, wenn jede einzelne Zahl zunächst multiplizirt und dann später die Producte addirt werden, denn es ist

$$(9+3+7)\,5 = 9\cdot 5 + 3\cdot 5 + 7\cdot 5 = 95$$

und allgemein

$$(a+b+c)\,n = a\cdot n + b\cdot n + c\cdot n$$

und ferner

$$\frac{9+3+7}{2} = \frac{9}{2} + \frac{3}{2} + \frac{7}{2} = \frac{19}{2}$$

und allgemein

$$\frac{a+b+c}{m} = \frac{a}{m} + \frac{b}{m} = \frac{c}{m}.$$

Der Werth der Buchstabenrechnung zur Lösung praktischer Aufgaben, resp. die Möglichkeit, complicirte Gesetze klar und übersichtlich mit Hülfe von Buchstabenzeichen für die betreffenden Zahlenwerthe auszudrücken, soll an einigen Beispielen gezeigt werden.

Beispiel. Für einen in Bewegung befindlichen Eisenbahnzug ist der zurückgelegte Weg gleich dem Producte aus der Zuggeschwindigkeit mal der Zeitdauer der Bewegung; es ist also

Weg = Zuggeschwindigkeit mal Zeit, oder, wenn der Weg mit s, die Geschwindigkeit mit v und die Zeit mit t bezeichnet werden,

$$s = v\cdot t.$$

Die linke Seite dieser Formel bleibt der rechten gleich, wenn beide Seiten durch v oder t getheilt werden, es ist also auch

$$\frac{s}{v} = \frac{v\cdot t}{v} = t \text{ oder}$$

$$\frac{\text{Weg}}{\text{Geschwindigkeit}} \text{ ist gleich der Fahrzeit, und}$$

$$\frac{s}{t} = \frac{v\cdot t}{t} = v \text{ oder}$$

$$\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} \text{ ist gleich der Geschwindigkeit}$$

Aufgabe. In einem Gebäude sind eine Anzahl für verschiedene Zwecke bestimmter Wassercisternen von verschiedenen Längen, Breiten und Höhen vorhanden. Durch einen Umbau des Gebäudes wird die Beschaffung von neuen Cisternen nothwendig, welche sämmtlich 2 Meter Höhe bei 6 Meter Länge haben sollen. Es sind die Breiten x der neuen Cisternen zu berechnen, wenn diese einzeln dieselben Fassungsräume haben sollen wie die entsprechenden Cisternen der früheren Anlage.

Auflösung. Der Rauminhalt einer jeden Cisterne ist gleich dem Producte aus ihrer Länge mal der Breite mal der Höhe, oder

Inhalt = Länge mal Breite mal Höhe, und, in Buchstaben ausgedrückt, wenn J den Inhalt, l die Länge, b die Breite und h die Höhe der

Cisternen bezeichnen, — J, l, b und h haben dabei für die verschiedenen Cisternen verschiedene Zahlenwerthe —

$$J = l \,.\, b \,.\, h.$$

Für die neuen Cisternen sollen l = 6 und h = 2 Meter sein, sie haben daher bei der noch zu ermittelnden Breite x einen Rauminhalt J von

$$J = 6 \,.\, 2 \,.\, x = 12 \,.\, x.$$

Da die Inhalte J oder 12 . x der neuen Cisternen den Inhalten J oder l . b . h der alten Cisternen gleich sein sollen, so muß stattfinden

$$12 \,.\, x = l \,.\, b \,.\, h.$$

Die linke Seite dieser Formel bleibt der rechten Seite gleich, wenn auf beiden Seiten durch 12 getheilt wird, es ist also auch

$$\frac{12 \,.\, x}{12} = \frac{l \,.\, b \,.\, h}{12}, \text{ oder } x = \frac{l \,.\, b \,.\, h}{12}.$$

In Worten ausgedrückt besagt diese Formel:

Die Breite x der neuen Cisternen wird gefunden, indem man die Längen der alten Cisternen mit ihren Breiten und Höhen multiplicirt und das Product durch die Zahl 12 dividirt.

Ist beispielsweise bei einer Cisterne l = 6 m, b = 3 m und h = 3 m und bei einer anderen l = $4^1/_2$ m, b = 2 m und h = 4 m, so muß für die erste die Breite x der neuen Cisterne

$$x = \frac{6 \,.\, 3 \,.\, 3}{12} = 4^1/_2 \text{ m}$$

und für die zweite die Breite der neuen Cisterne

$$x = \frac{4^1/_2 \,.\, 2 \,.\, 4}{12} = 3 \text{ m sein.}$$

Aufgabe. Mehrere Eisenstäbe mit verschiedenen rechteckigen Querschnitten sollen zu runden Stäben von 2 cm Durchmesser und 1 m Länge ausgeschmiedet werden; es ist zu ermitteln, in welchen Längen die Stäbe abgehauen werden müssen, damit die neuen Stäbe die vorschriftsmäßige Länge bekommen, wenn auf 10 Procent Abbrand bei dem Ausschmieden gerechnet werden muß

Auflösung. Der Cubikinhalt J der vorhandenen Stäbe ergiebt sich aus ihrer Breite b, Dicke h und noch zu ermittelnden Länge x zu

$$J = b \,.\, h \,.\, x.$$

Da 10 Procent dieses Inhalts durch Abbrand verloren gehen, so ergiebt sich der Cubikinhalt der ausgeschmiedeten runden Stäbe zu nur $^9/_{10}$ J und, wenn der Inhalt in den Dimensionen des Stabes ausgedrückt wird, zu

$$3{,}14 \,.\, 100 = 314 \text{ ccm},$$

weil die Querschnittsfläche eines Kreises von 2 cm Durchmesser 3,14 qcm beträgt und der Inhalt eines Cylinders gleich seiner Querschnittsfläche mal seiner Länge ist.

Es ist also

$$^9/_{10} \,.\, J = 314 \text{ ccm}$$

und, wenn beide Seiten dieser Formel mit $^{10}/_9$ multiplicirt werden,

$$J = \frac{3140}{9} = 348^7/_9 \text{ ccm.}$$

Da aber J ebenfalls zu h . b . x gefunden wurde, so muß

$$b \,.\, h \,.\, x = 348^7/_9 \text{ sein.}$$

Werden beide Seiten dieser Gleichung durch b . h getheilt, so ergiebt sich die gesuchte Länge x, in welcher die auszuschmiedenden Stäbe abzuschneiden sind, zu

$$x = \frac{348^7/_9}{b\,.\,h}\ \text{cm}.$$

In Worten ausgedrückt besagt diese Formel:

Die Längen, in welchen die Stäbe abzuschneiden sind, werden gefunden, indem man die Zahl $348^7/_9$ durch das Product aus der Breite mal der Dicke der Stäbe theilt.

Aufgabe. Ein auf zwei Stützen ruhender Balken von 5 cm Breite und 10 cm Höhe sei im Stande, eine in seiner Mitte aufgehängte Last von 200 kg zu tragen; es ist zu ermitteln, welche Höhe einem zweiten Balken zu geben ist, wenn er unter sonst gleichen Umständen bei 6 cm Breite eine Last von 300 kg tragen soll.

Auflösung. Die Tragfähigkeit eines Balkens nimmt in demselben Verhältnisse wie seine Breite und in dem Verhältnisse des Quadrates seiner Höhe zu. Wird demnach die zu ermittelnde Höhe des zweiten Balkens mit x bezeichnet, so verhalten sich die Tragfähigkeiten beider Balken wie

$$5\,.\,10\,.\,10 : 6\,.\,x\,.\,x.$$

Die Tragfähigkeit des zweiten Balkens muß aber um ebensoviel mal größer sein als die des ersten, wie seine Belastung von 300 kg die des ersten mit 200 kg übersteigt, es muß also

$$\frac{300}{200}\,.\,5\,.\,10\,.\,10 = 6\,.\,x\,.\,x$$

sein. Werden beide Seiten dieser Gleichung durch 6 getheilt, so erhält man

$$x\,.\,x = \frac{300}{200} \cdot \frac{5\,.\,10\,.\,10}{6} = 125$$

und, da die Zahl 11,2 mit sich selbst multiplicirt annähernd die Zahl 125 ergiebt, die gesuchte Höhe zu 11,2 cm oder zu 112 mm.

Werden allgemein die Belastungen von 200 kg und 300 kg der beiden Balken mit P und P^1 und die Breiten von 5 und 6 cm mit b und b^1 und die Höhen der Balken mit h und x bezeichnet, so verhalten sich die Tragfähigkeiten beider Balken wie

$$b\,.\,h\,.\,h \text{ zu } b^1\,.\,x\,.\,x$$

und es ist $b^1 . x . x$ um $\frac{P^1}{P}$ mal größer als b . h . h, also

$$\frac{P^1}{P}\,b\,.\,h\,.\,h = b^1\,.\,x\,.\,x.$$

Werden die beiden Seiten dieser Gleichung durch b^1 getheilt, so ergiebt sich die gesuchte Höhe aus der Bezeichnung

$$x\,.\,x = \frac{P^1}{P} \cdot \frac{b\,.\,h\,.\,h}{b^1} \text{ zu}$$

$$x = \sqrt{\frac{P^1}{P} \cdot \frac{b\,.\,h\,.\,h}{b^1}},$$

wobei das Zeichen $\sqrt{}$ (Wurzelzeichen) andeutet, daß nicht die unter dem

Zeichen stehende Zahl, sondern daß vielmehr die Zahl gesucht wird, welche mit sich selbst multiplicirt den unter dem $\sqrt{}$ Zeichen stehenden Ausdruck ergiebt.*)

Den Werth $\sqrt{\frac{P^1}{P} \cdot \frac{b \cdot h^2}{b^1}}$ für x

in Worten auszudrücken wird schon ziemlich umständlich, während die in Buchstaben angegebene Formel wenig Platz einnimmt und gut übersichtlich ist.

Noch deutlicher tritt die bessere Uebersichtlichkeit und knappe Form der Formel zu Tage, wenn für die beiden Balken verschiedene Längen vorausgesetzt werden.

Da sich die Tragfähigkeiten der Balken umgekehrt wie ihre Längen verhalten, so ergiebt bei verschiedenen Balkenlängen l und l^1 die Formel für x den Werth

$$x = \sqrt{\frac{P^1}{P} \cdot \frac{l^1}{l} \cdot \frac{b \cdot h^2}{b^1}}.$$

In Worten ausgedrückt würde diese Formel lauten:

Ist ein Balken von der Breite b, der Höhe h und der Länge l im Stande, eine Last P zu tragen, so wird die erforderliche Höhe x eines zweiten Balkens von der Breite b^1, der Länge l^1 und der Belastung P^1 gefunden, indem man das Verhältniß der Belastungen mit dem Verhältnisse der Längen und dem umgekehrten Verhältnisse der Breiten beider multiplicirt, das so entstandene Product nochmals mit dem Quadrate der Höhe des ersten Balkens multiplicirt und endlich die Zahl aufsucht, welche mit sich selbst multiplicirt das letztgefundene Product ergiebt.

Es kommt bei der Auflösung von Aufgaben häufig vor, daß Zahlen, welche zusammengezählt, von einander abgezogen, mit einander multiplicirt oder durch einander getheilt werden sollen, selbst aus mehreren Einzelwerthen zusammengesetzt sind. Die einzelnen Zahlengruppen sind in solchen Fällen zunächst durch die schon oben erwähnten Klammern als zusammengehörig zu kennzeichnen. Die

---

*) Anmerkung. Das Zeichen $\sqrt[3]{}$ bedeutet, daß die Zahl gesucht wird, welche 3 mal mit sich selbst multiplicirt die unter dem Zeichen stehende Zahl ergiebt. Es ist ferner üblich, Producte gleicher Factoren, also z. B. in obiger Formel das Product $h \cdot h$, in der Weise zu bezeichnen, daß man oben neben den Factor die Zahl schreibt, welche angiebt, wie oft der Factor mit sich selbst multiplicirt werden soll. So ist gleichbedeutend h^2 mit $h \cdot h$ und sagt man nicht h mal h, sondern h Quadrat; ferner h^3 mit $h \cdot h \cdot h$ und sagt man h zur dritten Potenz oder h Cubus, m^4 mit $m \cdot m \cdot m \cdot m$ und sagt man m zur vierten Potenz u. s. f.

Unser Ausdruck für x kann daher auch

$$x = \sqrt{\frac{P^1}{P} \cdot \frac{b \cdot h^2}{b^1}}$$

geschrieben werden.

Ausführung der Operationen, durch welche die Klammern verschwinden, soll an einigen Beispielen gezeigt werden.*)

a) **Addition.** Bei der Addition von zwei oder mehreren durch Klammern verbundenen Zahlengruppen dürfen die Klammern einfach fortgelassen werden.

Beispiel:

$$(a + 2b - 3c) + (2a - b + 4c) = a + 2b - 3c + 2a - b + 4c$$

oder, wenn die Ausdrücke nach den Buchstaben geordnet werden,

$$= a + 2a + 2b - b - 3c + 4c$$
$$= 3a + b + c.$$

b) **Subtraction.** Sollen zwei Ausdrücke von einander abgezogen werden und steht vor der Klammer das — Zeichen, so darf man die Klammer fortlassen, wenn man alle + Zeichen innerhalb der Klammer in — Zeichen und alle — Zeichen innerhalb der Klammer in + Zeichen umtauscht.

Beispiel:

$$a + 2b - 3c - (2a - b + 4c) = a + 2b - 3c - 2a + b - 4c$$
$$= a - 2a + 2b + b - 3c - 4c$$
$$= 3b - a - 7c.$$

Es kann vorkommen, daß sich innerhalb der Klammer noch ein oder mehr Ausdrücke befinden, welche nochmals in Klammern stehen. Das einzuschlagende Verfahren besteht dann darin, daß man zunächst die inneren und dann die äußere Klammer auflöst.

Beispiel:

$$5a - 3b - (4a + c - [2b + 2a] - m)$$
$$= 5a - 3b - (4a + c - 2b - 2a - m)$$
$$= 5a - 3b - 4a - c + 2b + 2a + m$$
$$= 5a - 4a + 2a - 3b + 2b - c + m$$
$$= 3a - b - c + m.$$

c) **Multiplication.** Sollen mehrgliedrige Ausdrücke miteinander multiplicirt werden, so ist jeder Factor in der einen Klammer mit jedem Factor in der anderen Klammer zu multipliciren. Haben die betreffenden Factoren dabei gleiche Vorzeichen, so erhält das Product das + Zeichen, und umgekehrt das — Zeichen, wenn die beiden Factoren ungleiche Vorzeichen hatten.

---

*) Anmerkung. Der Anfänger thut gut, zur Controle sowohl hier als auch bei den späteren Beispielen dieses Kapitels die Rechnung nochmals unter Einsetzung bestimmter Zahlen für die allgemeine Buchstabenwerthe durchzuführen.

Beispiel 1:

$$(a + b)(a + b) = aa + ab + ba + bb$$

oder, da $ab = ba$ ist und aa auch a^2, bb auch b^2 und $(a + b)(a + b)$ auch $(a + b)^2$ geschrieben werden kann, $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$.

Beispiel 2:

$$(a - b)(a - b) = aa - ab - ba + bb,$$

also $$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2.$$

Beispiel 3:

$$(a + b)(a - b) = a^2 + ab - ba - b^2$$
$$= a^2 - b^2.$$

Befinden sich innerhalb der Klammer noch weitere Klammern, so sind zunächst diese aufzulösen und ist dann in angedeuteter Weise zu multipliciren. Sind mehr als zwei Factoren vorhanden, so werden zunächst zwei und wird dann das Product mit dem dritten Factor u. s. f. multiplicirt.

Beispiel 4:

$$(a + b)(a + b)(a + b) = (a + b)(a^2 + 2ab + b^2)$$
$$= aa^2 + 2a.a\,b + a.b^2 + b.a^2 + 2ab.b + b^2.b$$
$$= a^3 + 2a^2b + ba^2 + ab^2 + 2ab^2 + b^3$$
$$= a^3 + 3a^2b + 3b^2a + b^3.$$

d) **Division.** Sollen mehrgliedrige Ausdrücke durcheinander dividirt werden, so sucht man zunächst die Ausdrücke in Factoren zu zerlegen, also zu ermitteln, welche Factoren mit einander multiplicirt gleiche Ausdrücke ergeben. Ist das gelungen, so dürfen die im Nenner und im Zähler des Bruches sich zeigenden gleichen Factoren gegeneinander gestrichen werden.

Beispiel. In dem Zähler des Bruches

$$\frac{mn + 3mb + 2an + 6ab}{2m + 4a}$$

haben die ersten beiden Glieder mn und $3mb$ den gemeinsamen Factor m, und die letzten beiden Glieder den gemeinsamen Factor $2a$, während beide Glieder des Zählers den gemeinsamen Factor 2 haben, der Bruch geht daher in

$$\frac{m(n + 3b) + 2a(n + 3b)}{2(m + 2a)}$$

oder in

$$\frac{(m + 2a)(n + 3b)}{2(m + 2a)}$$

und endlich, wenn Nenner und Zähler durch $m + 2a$ getheilt werden, in

$$\frac{n + 3b}{2}$$ über.

Wir gehen auf die Devision von Ausdrücken, deren einzelne Factoren weniger leicht zu finden sind, und auf die in solchen Fällen

einzuschlagenden Wege nicht näher ein, weil derartige Rechnungen für das Verständniß dieses Werkes nicht als nothwendig erscheinen.

Proportionen und Gleichungen. Das Verhältniß von zwei Zahlen, Kräften, Längen, Geschwindigkeiten ꝛc. zu einander wird durch den Bruch ausgedrückt, welcher aus ihrer Theilung entsteht. Sind die beiden Brüche für zwei solche Verhältniße einander gleich, so stehen die betreffenden Zahlen, Geschwindigkeiten u. s. w. in Proportion zu einander. So verhalten sich z. B. die Geschwindigkeiten V und v von zwei Zügen zu einander, wie die von ihnen in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege S und s, es verhält sich also V zu v wid S zu s und ist

$$\frac{V}{v} = \frac{S}{s}\text{*)}.$$

Gleichungen entstehen durch Gleichsetzung verschiedener Ausdrücke für denselben Werth. So war bei unseren beiden Zügen der Quotient $\frac{V}{v}$ aus den Geschwindigkeiten beider gleich dem Quotienten $\frac{S}{s}$ aus den von beiden Zügen durchlaufenen Wegen, es durften also

---

*) Anmerkung. Man ist in der Neuzeit mehr und mehr davon abgekommen, die Lehre von den Proportionen als einen besonderen Theil der Arithmetik zu behandeln. Unser Ausdruck $\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$ und ähnliche Ausdrücke sind nichts anderes als Gleichungen, welche die Beziehungen zwischen den betreffenden Zahlen darstellen. Werden sie als Gleichungen behandelt, so ergeben sich die Gesetze der Proportionenlehre oder Regeldetri, wie diese auch genannt wird, von selbst.

Giebt man der Gleichung $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ die gleichbedeutende, in der Proportionenlehre üblichere Form $a : b = c : d$, so bilden a und d die äußeren und b und c die inneren, und ferner a und c die vorderen und b und d die hinteren Glieder der Proportion

Das wichtigste Gesetz der Proportionenlehre besagt: Stehen vier Zahlen zu einander in Proportion, so ist das Product der äußeren Glieder dem Producte der inneren Glieder gleich; es ist also, sobald $a : b = c : d$ stattfindet, auch $a . d = b . c$. Aus dieser Beziehung ergiebt sich: $a = \frac{bc}{d}$; $d = \frac{bc}{a}$; $b = \frac{ad}{c}$ und $c = \frac{ad}{b}$, es wird also das vierte Glied einer Proportion gefunden, indem man entweder das Product der beiden äußeren durch das bekannte innere, oder indem man das Product der beiden inneren durch das bekannte äußere Glied theilt.

beide Quotienten durch das = Zeichen als überein groß bezeichnet und die Gleichung

$$\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$$

aufgestellt werden.

Sind in dieser und in anderen Gleichungen nicht für alle gebrauchten Buchstaben die Zahlenwerthe bekannt, und sollen die unbekannten Zahlenwerthe in bekannten ausgedrückt, sollen sie also ermittelt werden, so ist die Gleichung so umzugestalten — für den betreffenden Werth aufzulösen —, daß der unbekannte Werth allein an einer Seite der Gleichung (der Ausdruck vor dem = Zeichen wird die linke und der Ausdruck hinter dem = Zeichen wird die rechte Seite der Gleichung genannt) erscheint und daß die andere Seite nur bekannte Zahlen und Werthe zeigt.

Enthält eine Gleichung mehrere Unbekannte, so ist die Befolgung der angedeuteten Vorschrift nicht möglich; es bedarf dann ebenso vieler Gleichungen, wie Unbekannte vorhanden sind. Auf das in solchen Fällen und ferner dann einzuschlagende Verfahren näher einzugehen, wenn die Unbekannte in verschiedenen Potenzen erscheint, verbietet uns der zur Verfügung stehende Raum.

Bei der **Auflösung von Gleichungen** ist, wie bereits im Eingange dieses Kapitels angedeutet wurde, der Grundsatz streng festzuhalten, daß auf **beiden** Seiten der Gleichung stets **dieselben** Rechnungsoperationen vorgenommen werden, weil nur in diesem Falle die fernere Gleichstellung der neuen Ausdrücke durch das = Zeichen gestattet ist.

Die Auflösung von Gleichungen soll an einigen Beispielen, in welchen stets x als die Unbekannte anzusehen ist, deutlich gemacht werden.

Beispiele:

1) $$3x + 7b + 4 = 2b - x + c$$

Um zunächst x auf eine Seite zu bringen, ist auf beiden Seiten der Gleichung x zu addiren, es entsteht dann, da $- x + x$ zusammen Null ergeben,

$$4x + 7b + 4 = 2b + c.$$

Wird von beiden Seiten $7b + 4$ abgezogen, so ist

$$4x = 2b + c - 7b - 4 = c - 5b - 4$$

und, wenn rechts und links durch 4 getheilt wird,

$$x = \frac{c - 5b - 4}{4}.$$

2)
$$\frac{a}{x} = \frac{b}{c}.$$

Durch Multiplikation mit x auf beiden Seiten entsteht
$$\frac{x \,.\, a}{x} = \frac{x \,.\, b}{c} \text{ oder: } a = \frac{x \,.\, b}{c}$$
und durch Multiplikation mit c
$$a \,.\, c = \frac{x \,.\, b \,.\, c}{c} \text{ oder: } a \,.\, c = x \,.\, b$$
und endlich, wenn durch b getheilt wird,
$$\frac{a \,.\, c}{b} = \frac{x \,.\, b}{b} \text{ oder: } \frac{a \,.\, c}{b} = x^{*})$$

3)
$$b \,.\, x^2 - c\, b^2 + 4\, m = 2\, c\, x^2 - 4\, x^2 + 2.$$

Wird zu beiden Seiten der Gleichung der Werth $4\, x^2 - 2\, c\, x^2$ addirt, so ist
$$b\, x^2 + 4\, x^2 - 2\, c\, x^2 - c\, b^2 + 4\, m = 2 \text{ oder}$$
$$x^2 (b + 4 - 2\, c) - c\, b^2 + 4\, m = 2.$$

Durch Addition des Werthes $c\, b^2 - 4\, m$ zu beiden Seiten der Gleichung erhält man
$$x^2 (b + 4 - 2\, c) = c\, b^2 + 2 - 4\, m$$
und endlich für x^2 den Werth
$$x^2 = \frac{c\, b^2 + 2 - 4\, m}{b + 4 - 2\, c},$$
wenn beide Seiten der Formel durch $b + 4 - 2\, c$ getheilt werden.

Sind aber diese beiden Ausdrücke einander gleich, so müssen auch ihre Wurzeln einander gleich sein, es ist also, da
$$\sqrt{x^2} = x \text{ ist,}$$
$$x = \sqrt{\frac{c\, b^2 + 2 - 4\, m}{b + 4 - 2\, c}}$$

4)
$$m (a + 2 \sqrt{x} - 5) = 3\, n \left\{ 4 - 3 \left(a \sqrt{x} - \frac{m\, a}{9\, n} \right) - \frac{5\, m}{3\, n} \right\}.$$

Durch Auflösung der äußeren Klammer links und der inneren Klammer rechts entsteht
$$m\, a + 2\, m \sqrt{x} - 5\, m = 3\, n \left\{ 4 - 3\, a \sqrt{x} + \frac{m\, a}{3\, n} - \frac{5\, m}{3\, n} \right\}$$
und durch Auflösung der zweiten Klammer rechts
$$m\, a + 2\, m \sqrt{x} - 5\, m = 12\, n - 9\, n\, a \sqrt{x} + m\, a - 5\, m.$$

Werden auf beiden Seiten $5\, m - m\, a$ addirt, so wird
$$2\, m \sqrt{x} = 12\, n - 9\, n\, a \sqrt{x}$$

---

*) Anmerkung. Wird die Gleichung in die bei der Proportionenlehre gebräuchliche Form $a : x = b : c$ gebracht, so ist x dem durch b getheilten Producte der beiden äußeren Glieder a und c, also dem Ausdrucke $\frac{a\, c}{b}$ gleich, man erhält also für x denselben Werth wie bei der Auflösung der obigen Gleichung.

und, wenn beiden Seiten $9\,n\,a\sqrt{x}$ zuaddirt wird,

$$2\,m\sqrt{x}+9\,n\,a\sqrt{x}=12\,n \text{ oder}$$

$$\sqrt{x}\,(2\,m+9\,n\,a)=12\,n,$$

woraus sich $\sqrt{x}$ zu

$$\sqrt{x}=\frac{12\,n}{2\,m+9\,n\,a}$$

ergiebt, sobald noch beide Seiten der Gleichung durch $2\,m+9\,n\,a$ getheilt wurden. Man erhält aus dieser Formel den Werth für x, indem man beide Seiten der Gleichung mit sich selbst multiplicirt, zu

$$x=\left(\frac{12\,n}{2\,m+9\,n\,a}\right)^2,$$

da $\sqrt{x}\cdot\sqrt{x}=x$ ist.

III. Geometrie.

Die Geometrie befaßt sich mit den Größen und Verhältnissen von Linien, Winkeln, Flächen und Körpern.

a. Linien.

Wenn ein Punkt sich bewegt, so entsteht eine Linie. Wenn zwei Punkte a und b, Fig. 48, gegeben sind, so kann man dieselben durch eine unendlich große Anzahl von Linien verbinden. Die kürzeste Linie zwischen zwei Punkten ist die *gerade* Linie, alle anderen zwischen diesen Punkten l l′ l″ ... sind länger. Wir haben es vorläufig nur mit geraden Linien zu thun.

Fig. 48.

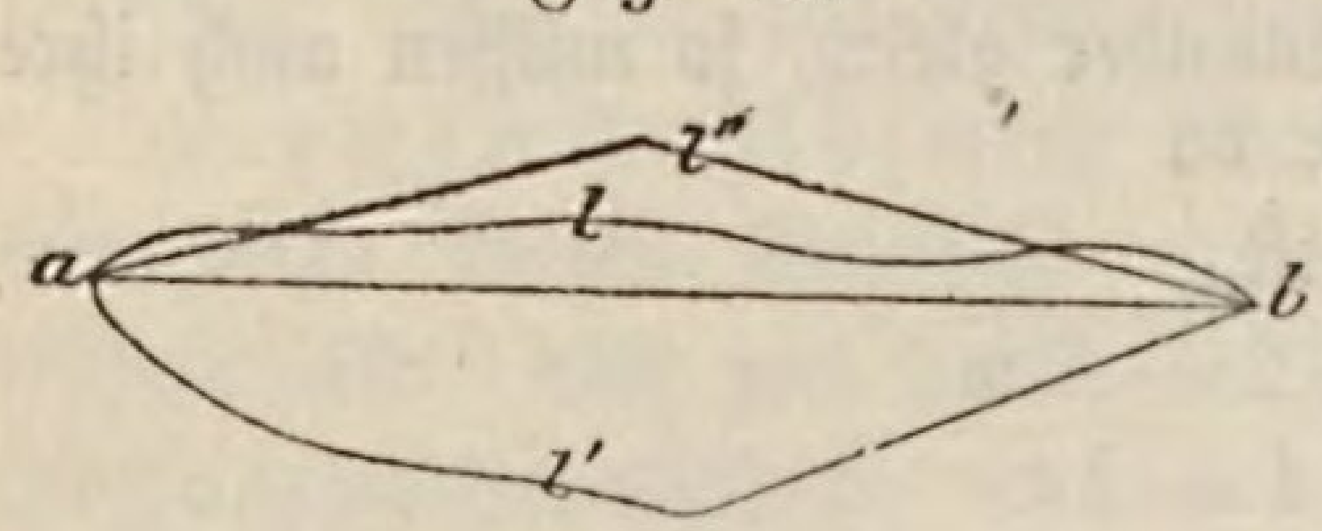
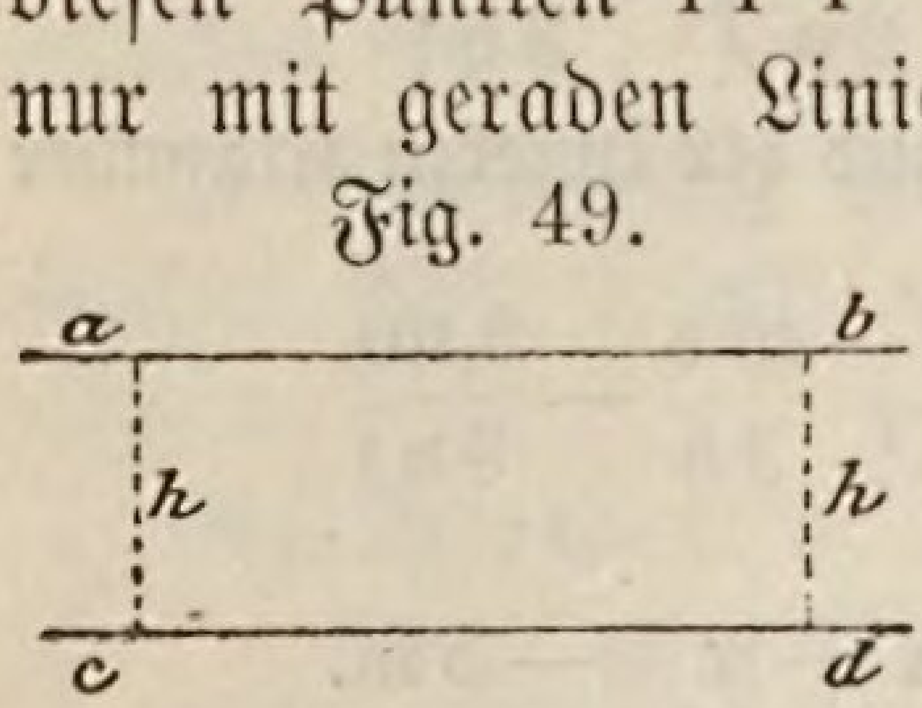


Fig. 49.



Wenn zwei Linien in einer Ebene so nebeneinander herlaufen, daß sie sich nie treffen, wie a b und c d, Fig. 49, so nennt man sie *parallele* Linien. Der kürzeste (senkrechte) Abstand h zwischen beiden ist überall gleich groß.

Zur Messung der Linien dient als *Maßeinheit* das *Meter* oder der *Stab*.

Der *hundertste* Theil des Meter heißt das *Centimeter* oder der *Neuzoll*.

Der *tausendste* Theil des Meter heißt das *Millimeter* oder der *Strich*.

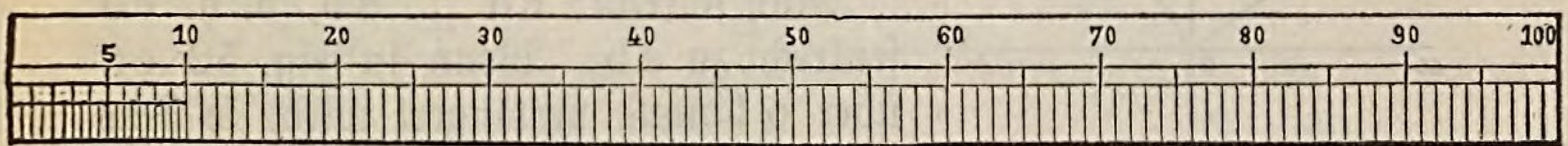
Zehn Meter heißen das *Decameter* oder die *Kette*.

Tausend Meter heißen das *Kilometer*.

Als Entfernungsmaß dient die *Meile* gleich 7500 Meter.

Beistehende Fig. 50 stellt einen Maßstab von 0,1 Meter = 1 Decimeter = 10 Centimeter dar; er soll eine klare Vorstellung von diesem in Deutschland erst seit einigen Jahren gebräuchlichen Längenmaße vermitteln.

Fig. 50.



Scala.

1 Meter	1 Meter.
10 Meter = 1 Decameter.	$^1/_{10}$ = 0,1 Meter = 1 Decimeter.
100 Meter = 1 Hectometer.	
1000 Meter = 1 Kilometer.	$^1/_{100}$ = 0,01 Meter = 1 Centimeter.
7500 Meter = 1 Meile.	
10000 Meter = 1 Myriameter.	$^1/_{1000}$ = 0,001 Meter = 1 Millimeter.

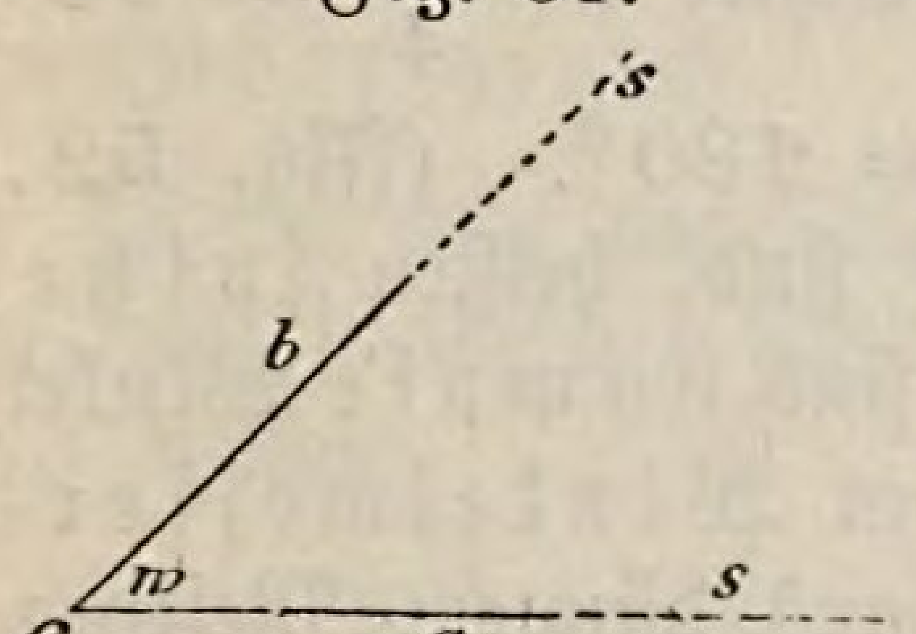
Abkürzungen: Meile . . . . = ml
Kilometer . . . = km
Meter . . . . = m
Centimeter . . . = cm
Millimeter . . . = mm

Den Buchstaben werden Schlußpunkte nicht beigefügt. Die Buchstaben werden an das Ende der vollständigen Zahlenausdrücke (nicht über das Decimalkomma) gesetzt, z. B. 5,37 m; nicht 5 m 37 und nicht 5 m 37 cm.

b. Winkel.

Wenn sich zwei Linien schneiden, z. B. a o und b o in dem Punkte o, Fig. 51, so bilden sie einen Winkel miteinander, es ist dieses der Raum zwischen den beiden Linien. Winkel bezeichnet man durch das Zeichen ∠, und schreibt nun ∠ b o a oder ∠ a o b. Man kann auch den Winkel durch einen Buchstaben bezeichnen, den man dann zwischen die beiden Linien setzt, also

Fig. 51.

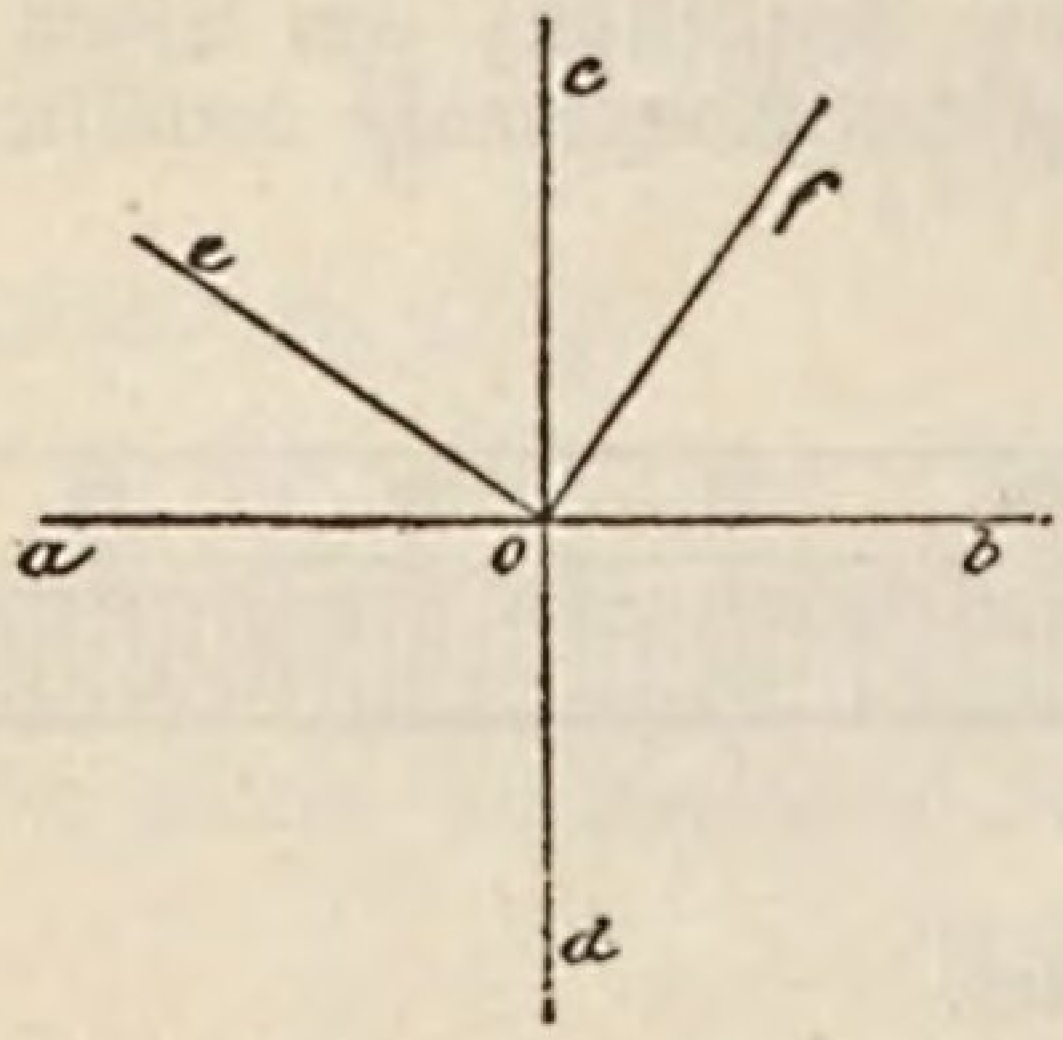


∠ b o a = ∠ a o b = ∠ w.

Man nennt o den Scheitel und die Linien b o und a o die Schenkel des Winkels w. Die Länge der Schenkel hat auf die Größe des Winkels keinen Einfluß, denn wenn man an o b und o a noch Stücke s s ansetzt, so wird dadurch der Winkel w nicht geändert. Die Größe des Winkels ist nur abhängig von dem Grade der Neigung der Schenkel zu einander.

Wenn eine gerade Linie a b von einer anderen c o so geschnitten wird, Fig. 52, daß die beiden nebeneinander liegenden Winkel gleich

Fig. 52.



sind, also $\angle$ c o b = $\angle$ c o a, so steht die Linie c o senkrecht (perpendiculair) auf a b, und jeden Winkel nennt man in diesem Falle einen Rechten*) Winkel.

Man schreibt: c o $\perp$ a b, d. h. c o senkrecht zu a b. Wenn in Fig. 52 c o über o hinaus verlängert wird, so steht auch d o senkrecht auf a b und bildet mit dieser ebenfalls zwei rechte Winkel, nämlich $\angle$ d o a und $\angle$ d o b. Es liegen also um o vier rechte Winkel und das ist mit jedem Punkte so.

Wenn um einen Punkt als Mittelpunkt ein Kreis geschlagen wird, und man theilt diesen in eine Anzahl gleicher Theile, zieht dann von den Theilpunkten Linien nach dem Mittelpunkte, so entstehen hier eben so viele gleiche Winkel, wie am Kreisumfange gleiche Theile sind.

Man ist übereingekommen, alle Winkel um einen Punkt in 360 gleiche Theile zu theilen und jeden Theil einen Grad = 1^0 zu nennen. Den Kreis, durch dessen Theilung die Winkel um einen Punkt gebildet werden, nennt man Gradbogen. Um einen Winkel, welcher kleiner als 1^0 ist, zu bezeichnen, theilt man 1^0 noch in 60 Theile, deren jeder eine Minute = 1′ ist; auf einen Winkel von 1′ gehen 60 Winkel von einer Sekunde = 1″. Da um einen Punkt vier rechte Winkel liegen, so ist also ein Rechter $= \frac{360}{4} = 90^0$, und sind zwei Rechte, z. B. a o c + b o c, = 180^0. (Fig. 52.) Winkel, z. B. $\angle$ f o b, welche kleiner als 90^0 sind, heißen spitze, solche, z. B. $\angle$ e o b, größer als ein Rechter, sind stumpfe Winkel.

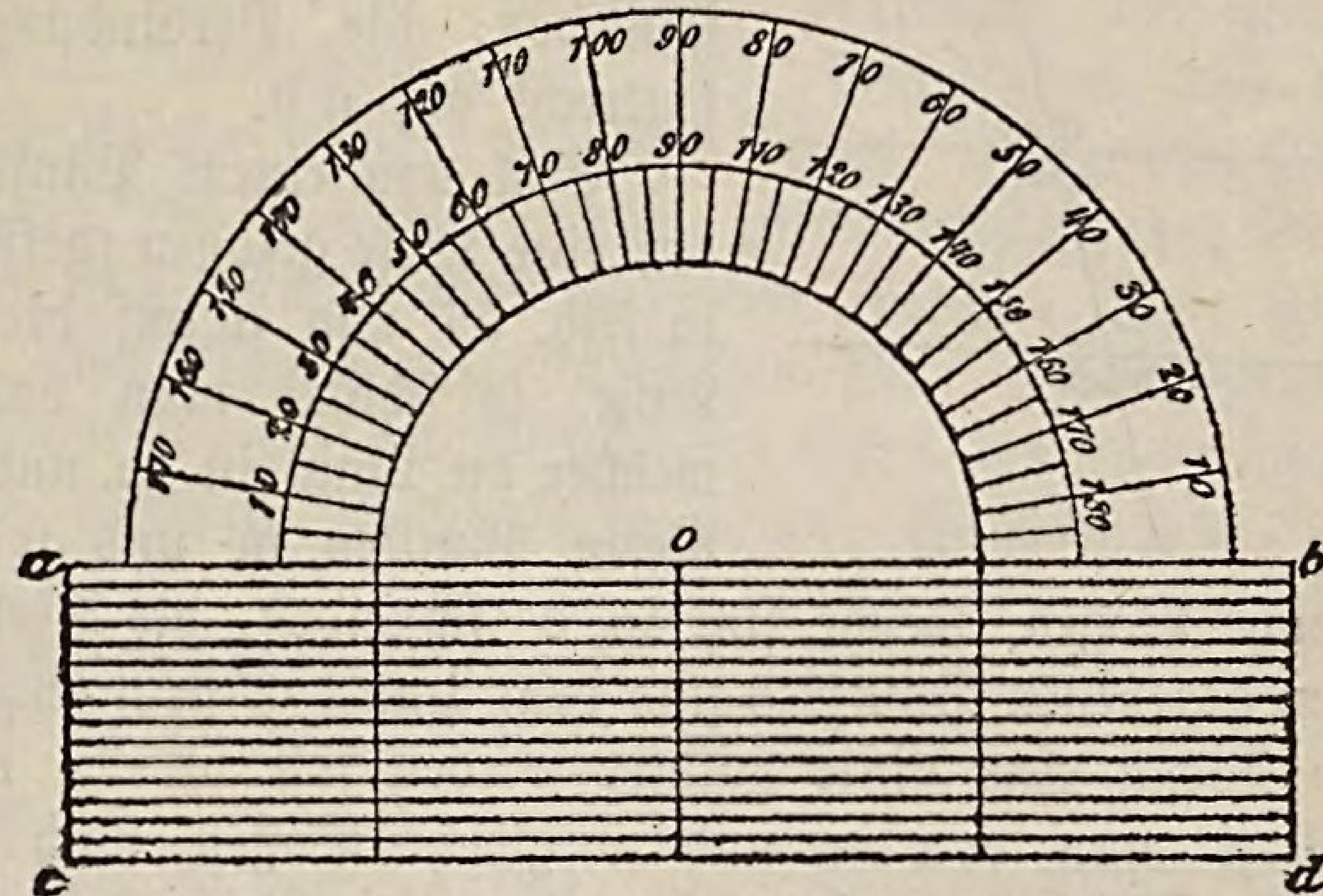
Um Winkel zu messen bedient man sich des Winkelmessers oder Transporteurs, Fig. 53, welcher aus dünnem Messingbleche oder einem anderen geeigneten Materiale besteht. Der über der Linie a b liegende Halbkreis mit dem Mittelpunkte o schließt einen Raum von 2 R ein, deren Theilung in 180^0 angegeben ist. Um nun einen Winkel zu messen, legt man den Transporteur so an, daß der Mittelpunkt o auf dem Scheitelpunkte des zu messenden Winkels liegt und der eine Schenkel dieses mit der geraden Linie a b zusammenfällt. Der andere Schenkel des Winkels durchschneidet dann den Halbbogen des Winkelmessers und am Schnittpunkte liest

*) Anmerkung. Wird mit R bezeichnet.

man die Neigung des Winkels in Graden ab.

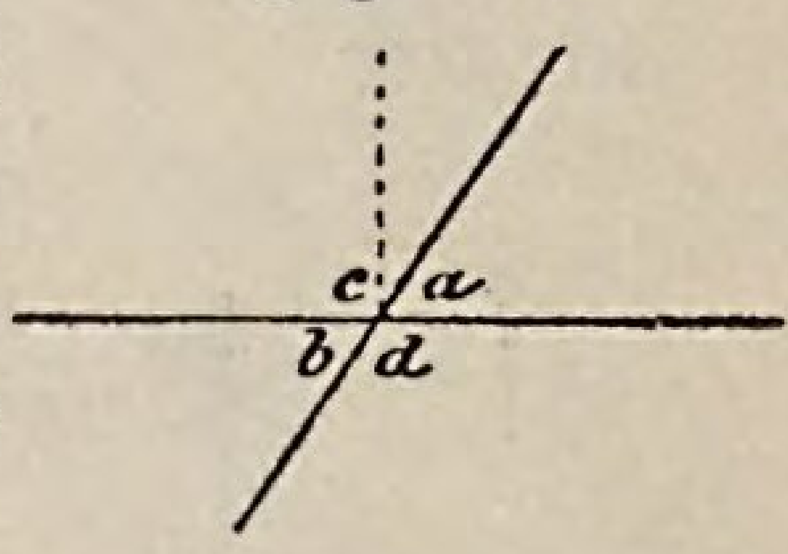
In derselben Weise kann man einen in Graden angegebenen Winkel zeichnen.

Fig. 53.



Wenn man die beiden Schenkel eines Winkels a, Fig. 54, über den Scheitelpunkt hinaus verlängert, so bilden sich um diesen Winkel die a, b, c und d. Man nennt ∠ c und ∠ d die **Nebenwinkel** zu ∠ a. Der ∠ b, welcher durch die verlängerten Schenkel von ∠ a gebildet wird, ist **Scheitelwinkel** von ∠ a. Auch ∠ c und ∠ d sind Scheitelwinkel, ∠ b und ∠ c, sowie ∠ b und ∠ d sind ebenfalls Nebenwinkel.

Fig. 54.



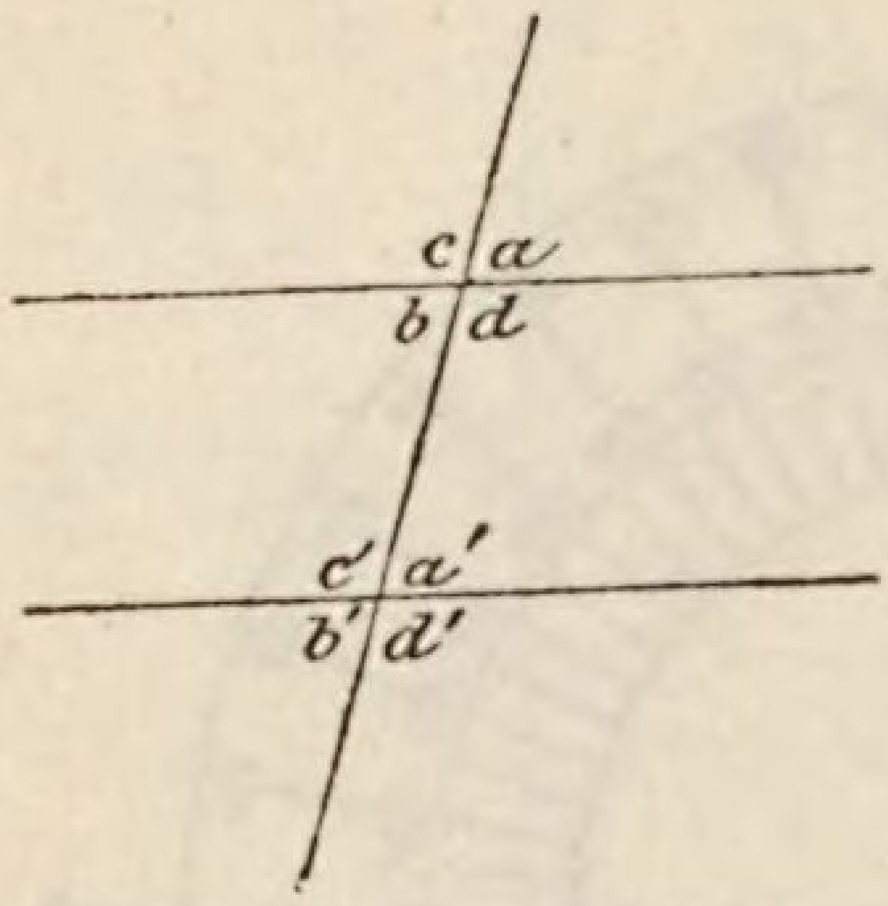
Zwei Nebenwinkel, z. B. a und c, **ergänzen sich zu zwei Rechten**, und **Scheitelwinkel**, z. B. a und b, **sind einander gleich.**

Wenn zwei parallele durch eine gerade Linie geschnitten werden, Fig. 55, so ergeben sich 8 Winkel, nämlich a, b, c, d und a′, b′, c′, d′; man nennt:

1. b u. c′ und d u. a′ **innere Gegenwinkel**, zusammen = 2 R.
2. c u. b′ und a u. d′ **äußere Gegenwinkel**, „ = 2 R.
3. b u. a′ und d u. c′ **innere Wechselwinkel**, sind einander gleich.
4. c u. d′ und a u. b′ **äußere Wechselwinkel**, „ „ „
5. c u. c′ und a u. a′ / b u. b′ und d u. d′ } **innere und äußere Gegenwinkel**, sind einander gleich.
6. c u. a′ und a u. c′ / b u. d′ und d u. b′ } **innere und äußere Wechselwinkel**, zusammen = 2 R.

Um in dem Punkte o einer Linie, Fig. 56, eine Senkrechte zu errichten, schneidet man die beiden gleichen Stücke o a = o b ab,

Fig. 55.



schlägt dann von a und b mit dem Zirkel zwei gleiche Bogen, welche sich in m schneiden; die Verbindungslinie m o steht senkrecht auf a b.

Soll von einem Punkte eine Senkrechte auf eine Linie gezogen (gefällt) werden, z. B. in Fig. 57 von o auf die darunter liegende Linie, so schlägt man von o einen Kreis, welcher die Linie in m und n schneidet; von diesen Punkten m und n schlägt man zwei gleiche Bogen, welche sich in o' schneiden, die Verbindungslinie von dem gegebenen Punkte o und dem Punkt o'' steht senkrecht zu der Linie.

Wenn eine Linie halbirt werden soll, z. B. m n, Fig. 57, so schlägt man von m und n gleiche Bogen nach oben und unten, welche sich in o und o' schneiden; die Verbindungslinie o o' halbirt die Linie m n.

Fig. 56.

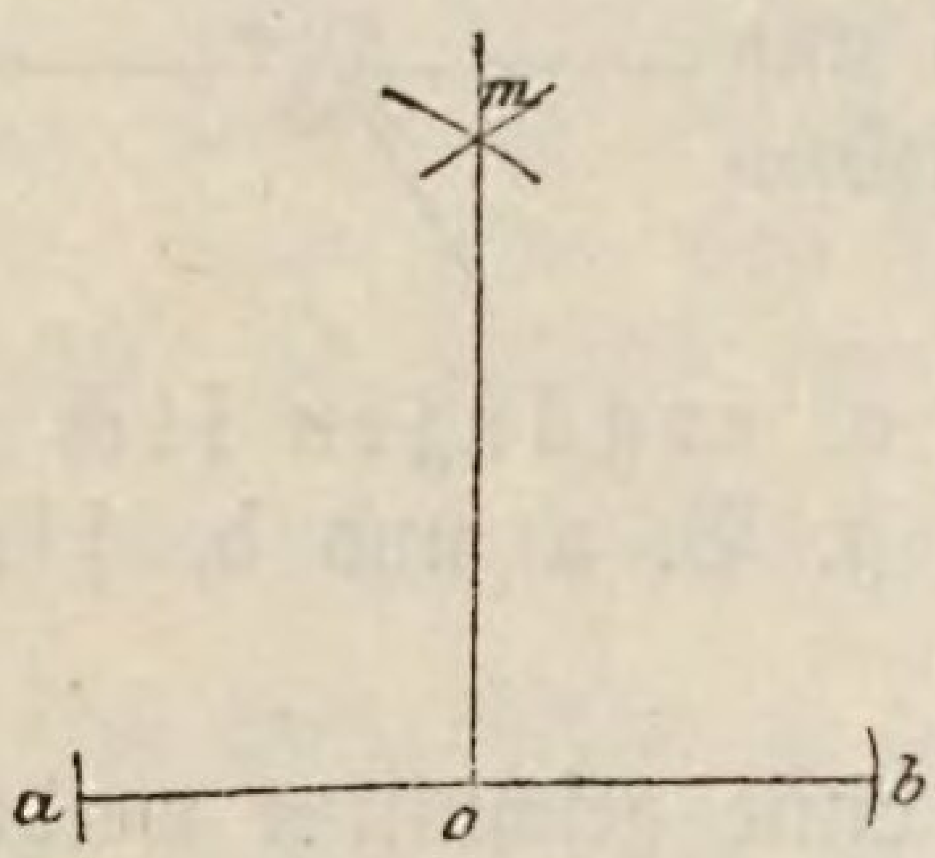


Fig. 57.

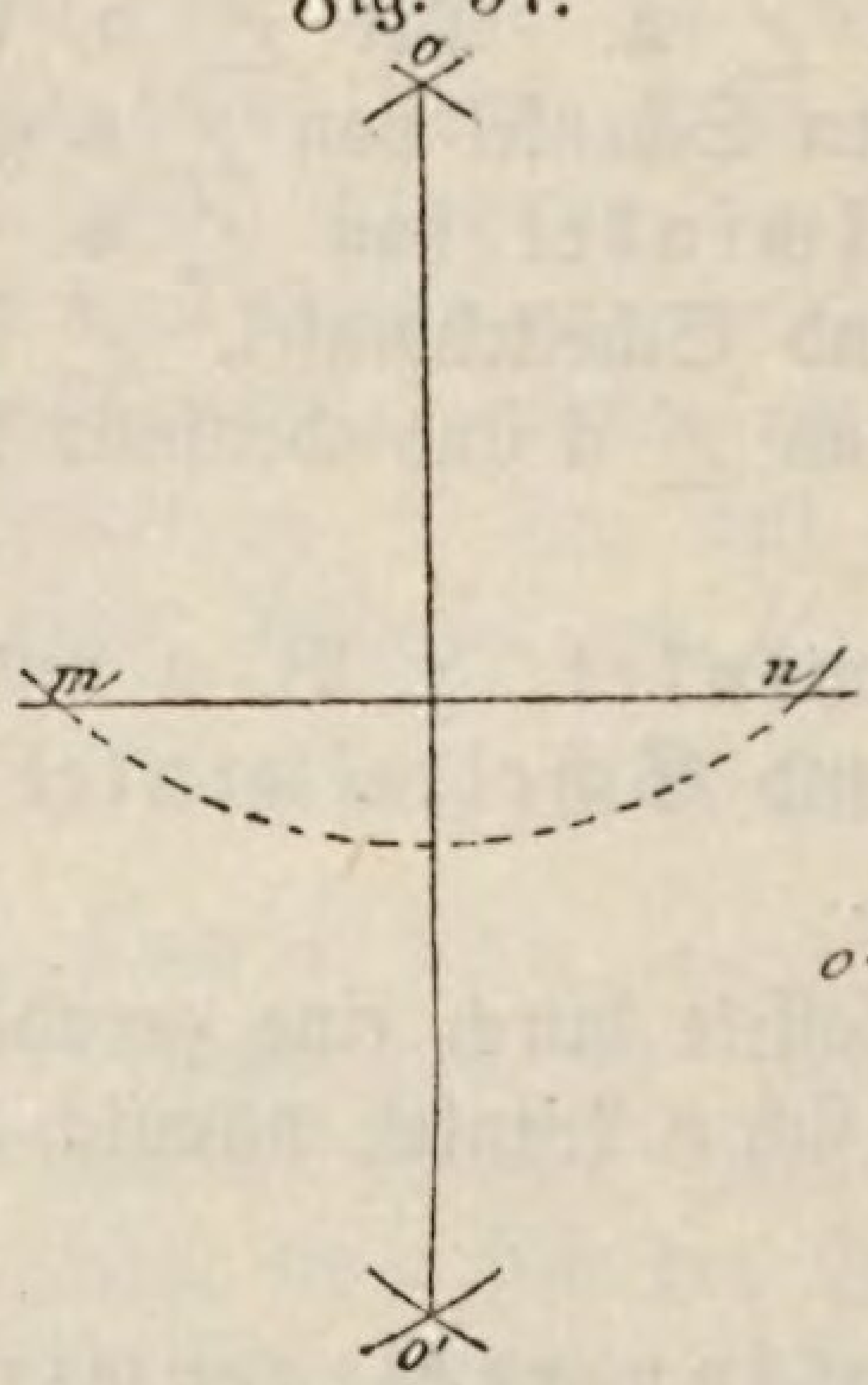
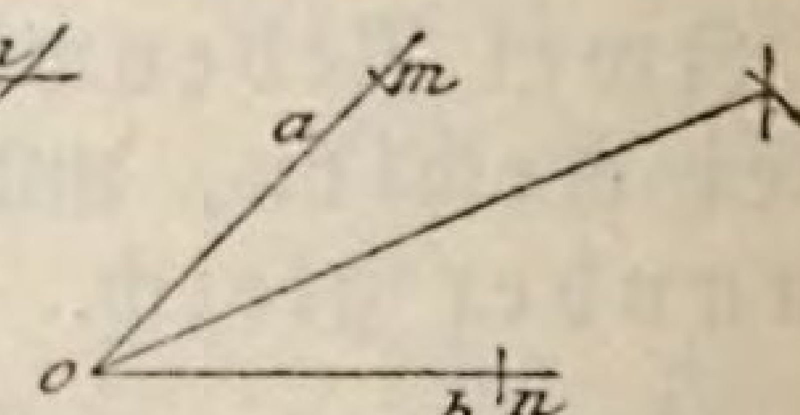


Fig. 58.



Um einen gegebenen Winkel a o b, Fig. 58, zu halbiren, schneidet man von den Schenkeln die gleichen Stücke o n und o m ab, man schlägt dann um m und n denselben Bogen, die Verbindungslinie des Schnittpunktes mit dem Scheitelpunkte halbirt den Winkel a o b.

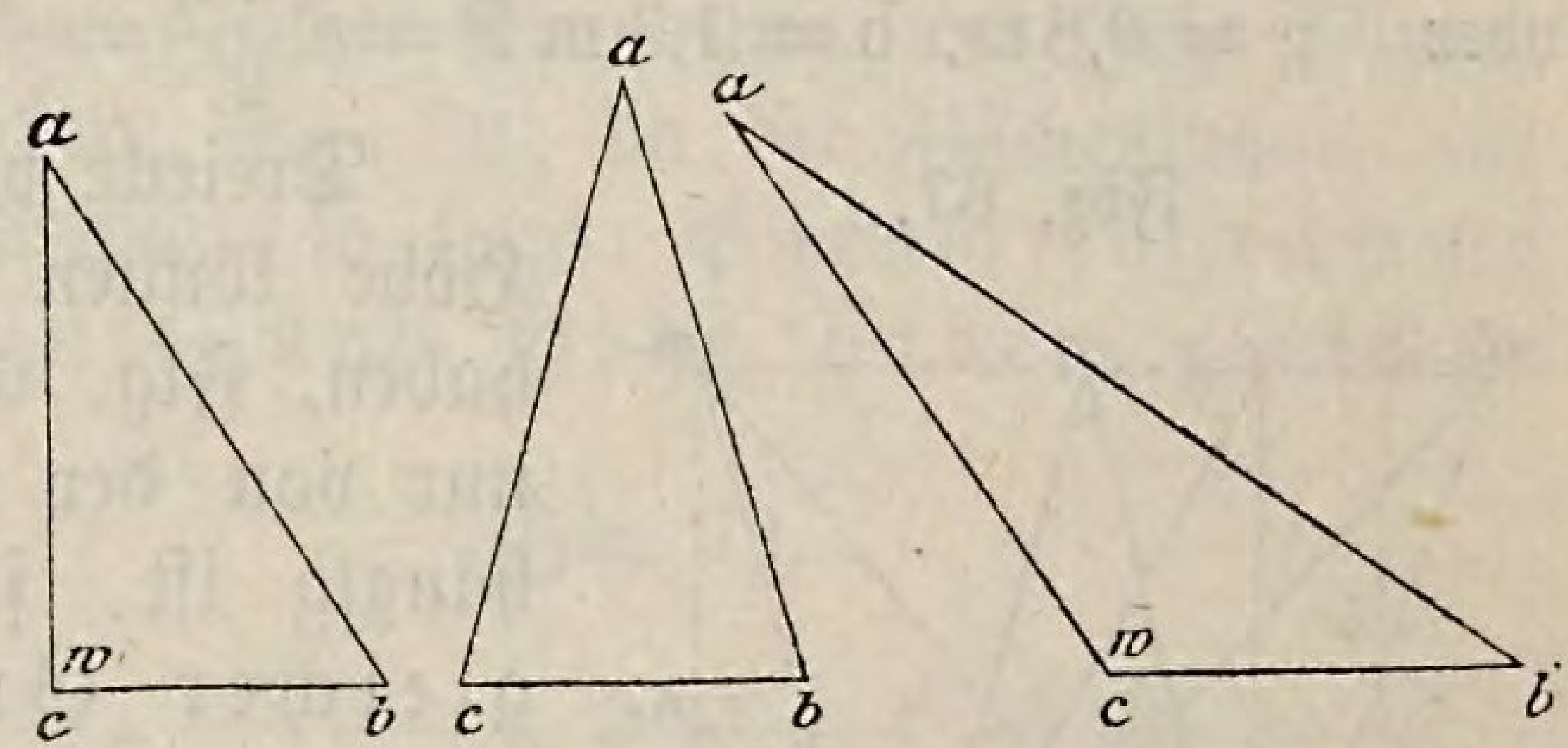
c. Flächen.

Flächen sind entweder eben oder krumm. In ebene Flächen läßt sich nach allen Richtungen eine gerade Linie legen. Wenn mehrere gerade Linien das Stück einer (ebenen) Fläche begrenzen, so nennt man dieses Stück eine gradlinige Figur, sind die um=

schließenden Linien krumm, so ist die Figur eine krummlinige; auch schon eine krumme Linie kann eine Fläche begrenzen, bei geraden Linien gehören dazu mindestens drei. Wir beschäftigen uns vorläufig nur mit geradlinigen Figuren. Die Linien, welche eine Figur einschließen, heißen die Seiten, zwei zusammenstoßende Seiten bilden eine Ecke und bekanntlich auch einen Winkel. Jede Figur hat soviel Ecken oder Winkel wie sie Seiten hat. Man bezeichnet gewöhnlich die Figuren nach der Anzahl der Ecken und unterscheidet Dreiecke, Vierecke, Fünfecke, Sechsecke u. s. w. Figuren von mehr als vier Seiten nennt man allgemein Vielecke. Wenn bei einer Figur alle Seiten und Winkel gleich siud, so heißt sie regelmäßig, wenn dieses nicht der Fall, unregelmäßig.

Das Dreieck. Ein Dreieck, dessen drei Seiten sss gleich lang sind, heißt ein gleichseitiges, Fig. 59; bei zwei gleich langen Seiten s′s′ ist es ein gleichschenkliges, Fig. 60; sind alle Seiten ungleich lang, Fig. 61, so ist es ein ungleichseitiges. Nach den Winkeln unterscheidet man rechtwinklige, Fig. 62, spitzwinklige, Fig. 63, und stumpfwinklige Dreiecke, Fig. 64. Die drei Winkel eines Dreiecks bilden zusammen 2 Rechte. Ein gleichseitiges Dreieck hat 3 gleiche Winkel von 60°. In einem rechtwinkeligen Dreiecke bilden die beiden anderen Winkel zusammen einen Rechten.

Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64.



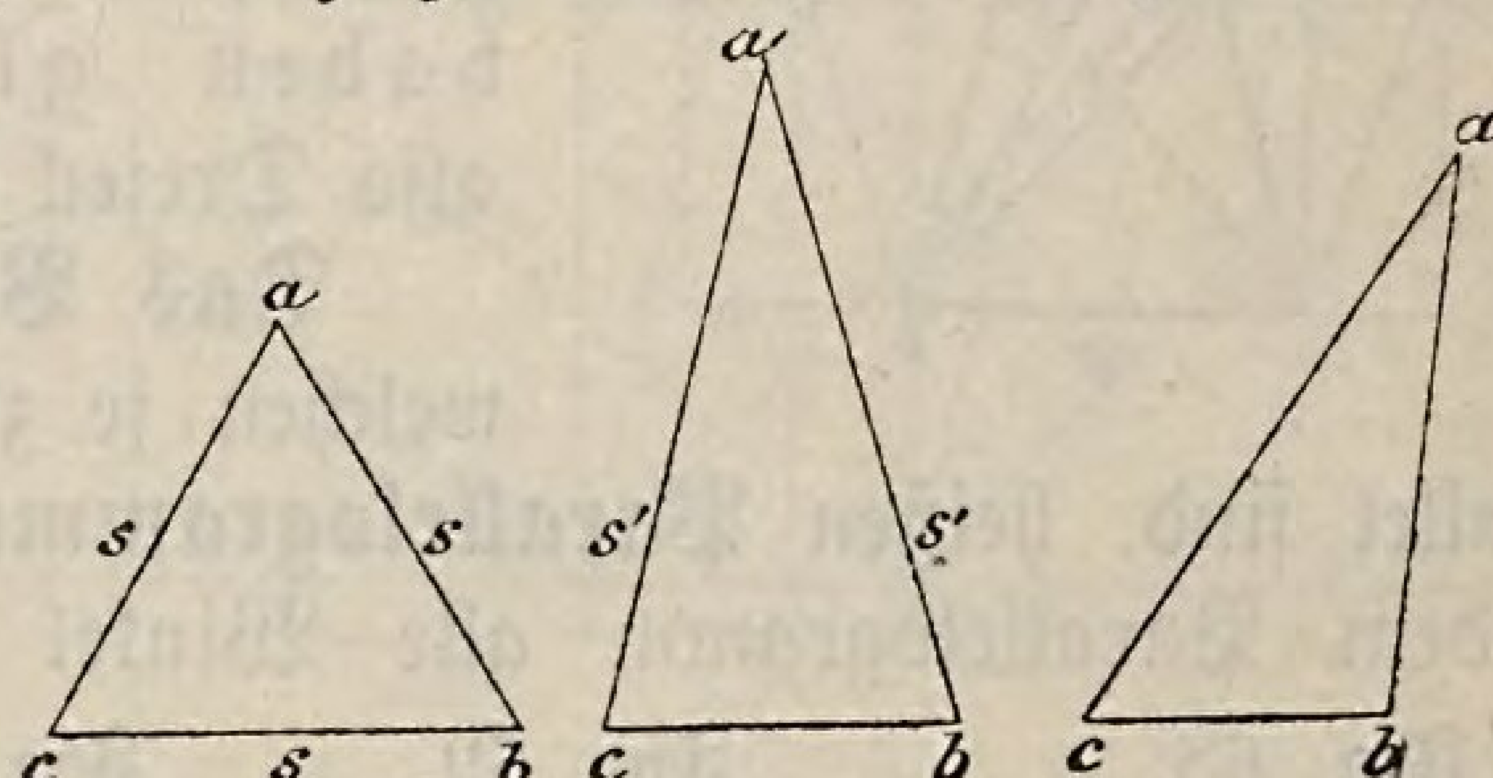


Fig. 59. Fig. 60. Fig. 61.

Wenn man von einer Ecke des Dreiecks eine senkrechte Linie h auf die gegenüberliegende Seite g zieht, Fig. 65, oder auf die Verlängerung derselben, Fig. 66, so nennt man h die Höhe und g die Grundlinie des Dreieckes.

Wenn man zu zwei Seiten eines Dreieckes Parallele zieht, Fig. 65 und 66, so entsteht ein zweites gleiches Dreieck, beide zusammen bilden ein Viereck, welches also die doppelte Größe von dem Dreiecke hat.

Fig. 65.

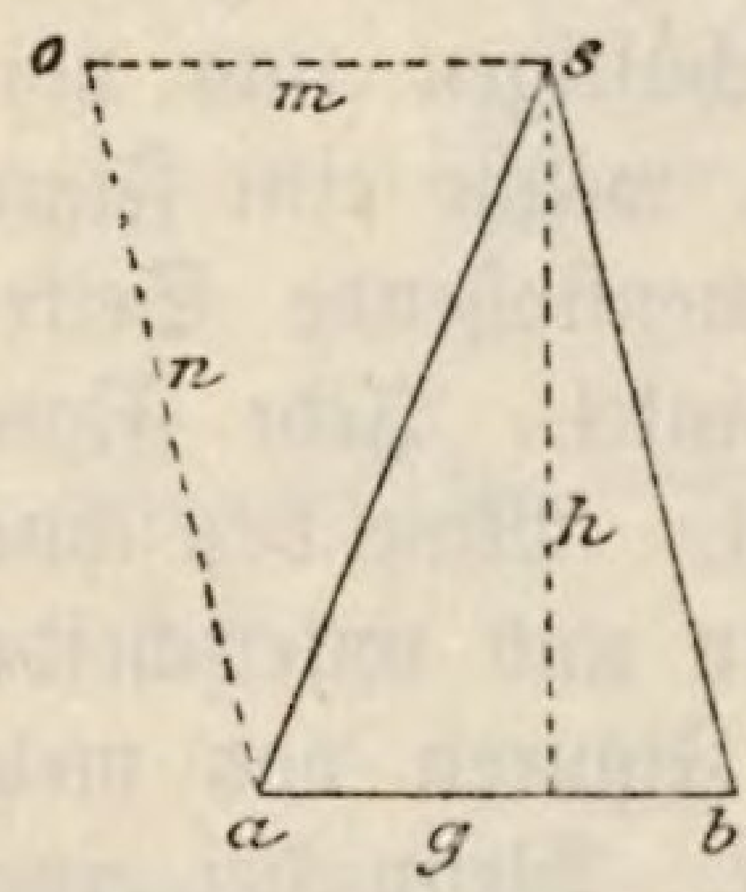
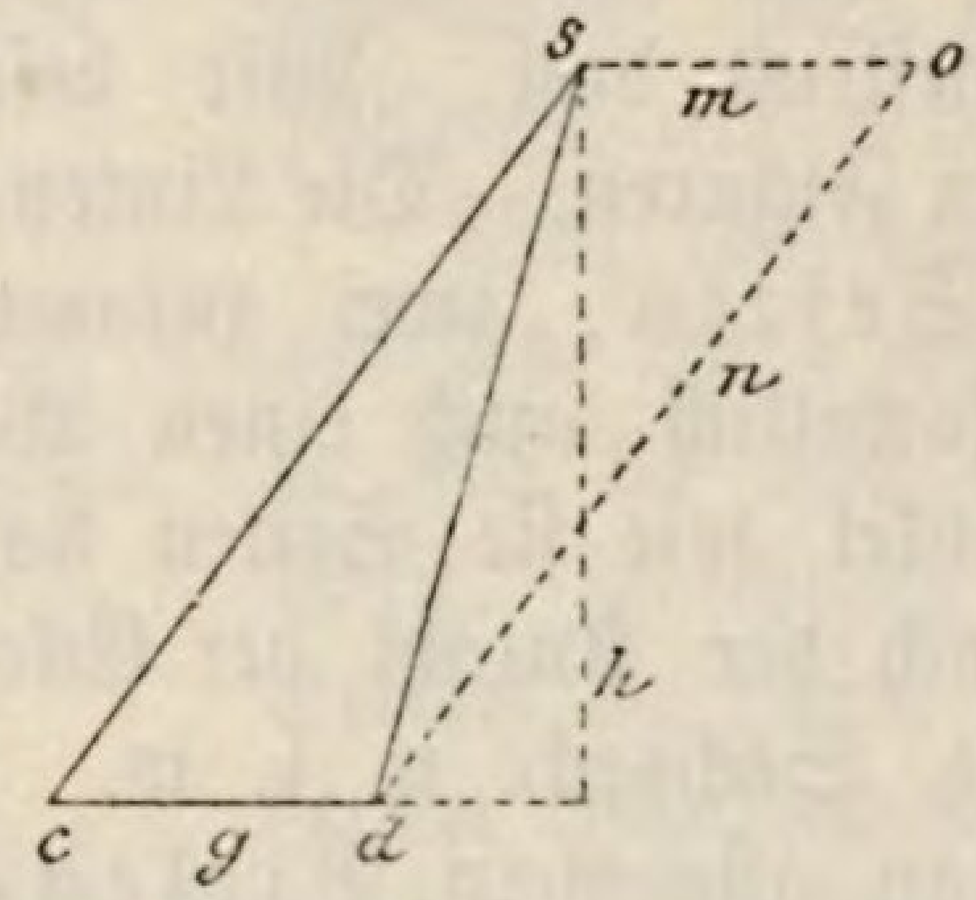


Fig. 66.



Flächenmaße. Zur Messung der Flächen dient als Einheit das Quadratmeter od. der Quadratstab = qm. Hundert Quadratmeter heißen das Ar = a. Zehntausend Quadratmeter heißen das Hectar = ha.

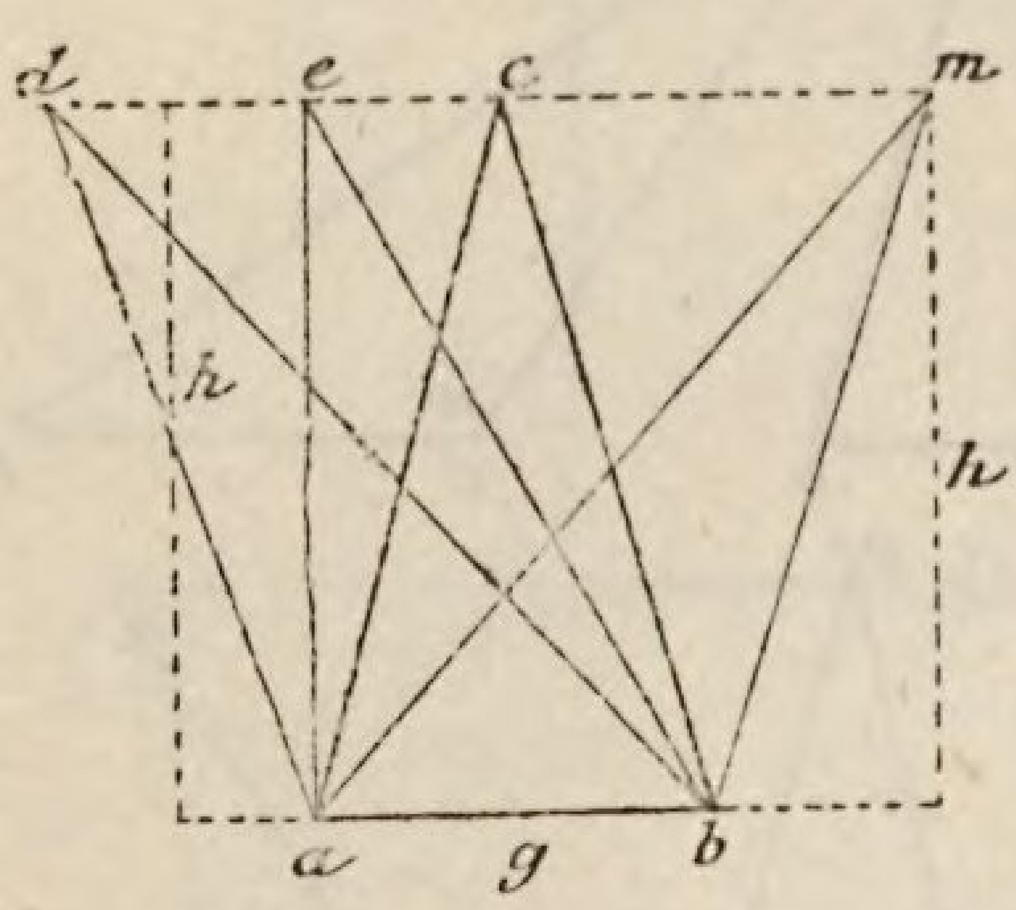
1. Um den Flächeninhalt F eines Dreiecks zu finden, multiplicirt man den Zahlenausdruck der Grundlinie mit dem der halben Höhe, oder, wie man sagt, multiplizirt man die Grundlinie g mit der Höhe h und dividirt das Product durch 2, also:

$$F = \frac{g \cdot h}{2} \text{ (Dreieck)}$$

z. B. $g = 1{,}2\,\text{m},\ h = 1{,}1\,\text{m}\ F = \frac{g \cdot h}{2} = \frac{1{,}2 \cdot 1{,}1}{2} = \frac{1{,}32}{2} = 0{,}669$ qm,

oder $g = 0{,}8\,\text{m},\ h = 1{,}3\,\text{m}\ F = \frac{g \cdot h}{2} = \frac{0{,}8 \cdot 1{,}3}{2} = \frac{1{,}04}{2} = 0{,}529$ qm.

Fig. 67.



Dreiecke von gleicher Grundlinie und Höhe können ganz verschiedene Gestalt haben, Fig. 67. Da der Flächeninhalt nur von der Grundlinie und Höhe abhängig ist, so folgt: Dreiecke von gleicher Grundlinie und Höhe haben gleichen Flächeninhalt, also Dreieck abd = abe = abc = abm.

Das Viereck. Alle Vierecke, bei welchen je zwei gegenüberliegende Seiten parallel sind, heißen **Parallelogramme,** Fig. 68 bis 71. Wenn in dem Parallelogramm alle Winkel Rechte sind, so ist es ein

Fig. 68.

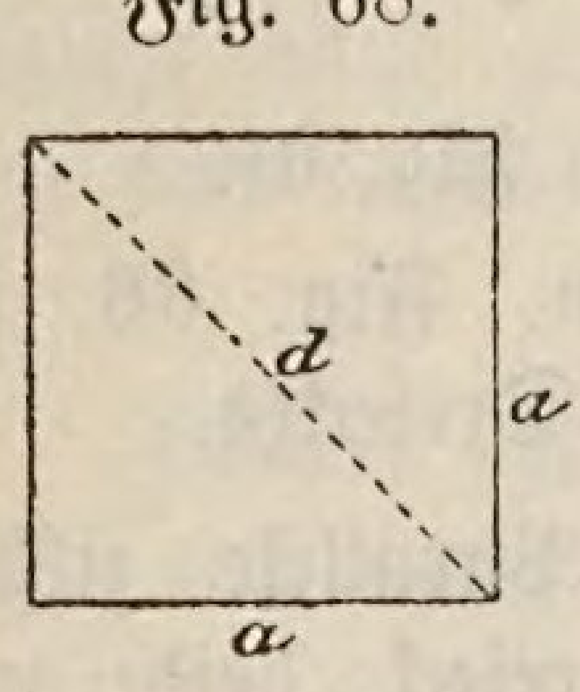


Fig. 69.

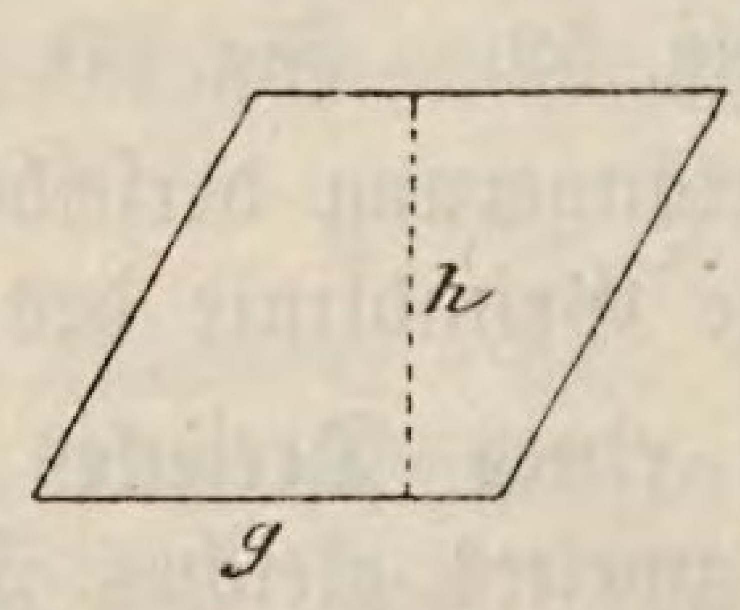


Fig. 70.

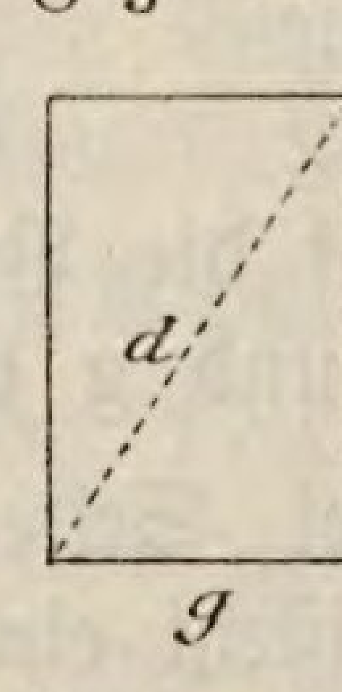
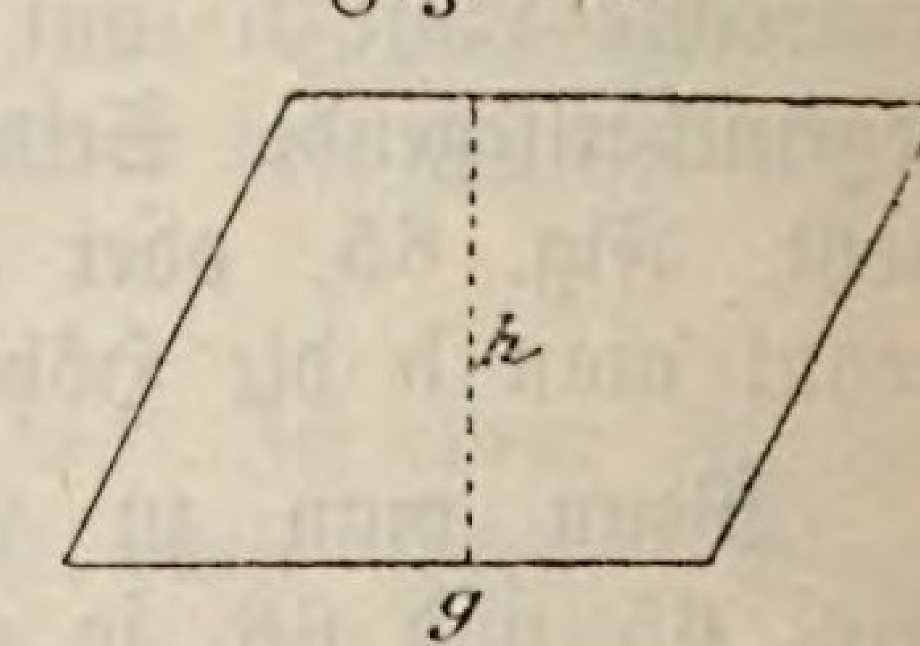


Fig. 71.



Rechteck, Fig. 70. Hat ein Rechteck vier gleiche Seiten, so ist es ein **Quadrat,** Fig. 68. Wenn in einem Parallelogramm die

vier Seiten gleich, aber die Winkel nicht Rechte sind, so ist es ein verschobenes Quadrat und wird **Rhombus** oder auch **Raute** genannt, Fig. 69.

Wenn man bei einem Parallelogramm eine Seite g als Grundlinie annimmt, so ist der senkrechte Abstand dieser von der gegenüberliegenden Seite die Höhe h des Parallelogramms, Fig. 69 u. 71.

2. Der Flächeninhalt F eines Parallelogramms ist gleich dem Producte aus Grundlinie mal Höhe, also:

$$F = g \,.\, h \quad \textbf{(Parallelogramm)}$$

z. B. $g = 2{,}6$ m, $h = 3$ m: $F = g \,.\, h = 2{,}6 \,.\, 3 = 7{,}8$ qm.

Da bei einem Rechtecke, Fig. 70, die Seiten senkrecht aufeinander stehen, so ist der Inhalt eines solchen gleich dem Producte aus Länge mal Breite

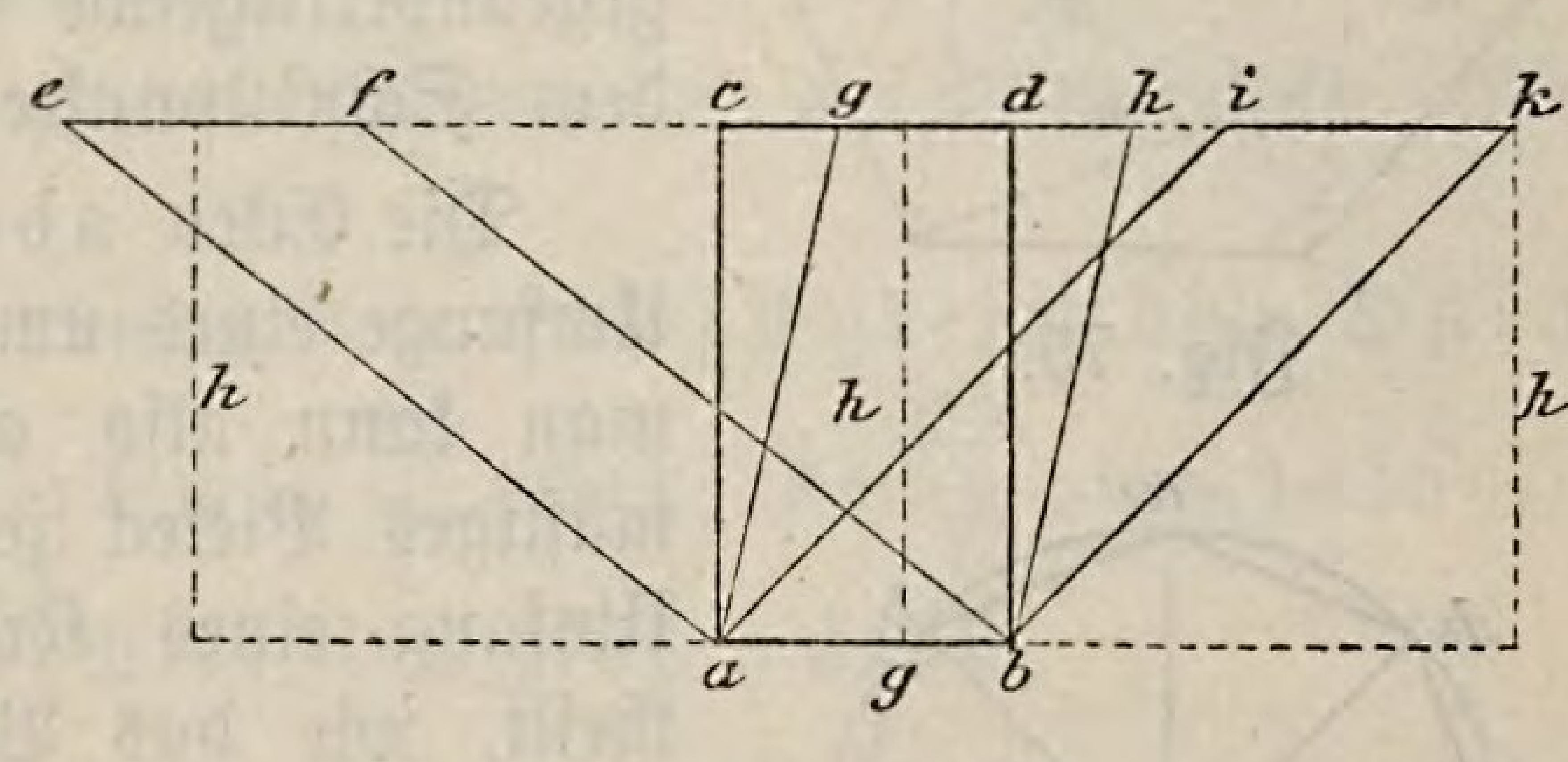
2ª. $$F = l b \quad \textbf{(Rechteck)}.$$

Bei einem Quadrate sind Länge und Breite unter sich und gleich einer Seite a, Fig. 68, so daß bei diesem wird

2ᵇ. $$F = a \,.\, a = a^2 \quad \textbf{(Quadrat)}.$$

Auch Parallelogramme von gleicher Grundlinie und Höhe können ganz verschiedene Gestalt haben, Fig. 72; da der Flächeninhalt nur von diesen beiden Größen abhängt, so folgt: Parallelogramme von gleicher Grundlinie und Höhe haben gleichen Flächeninhalt.

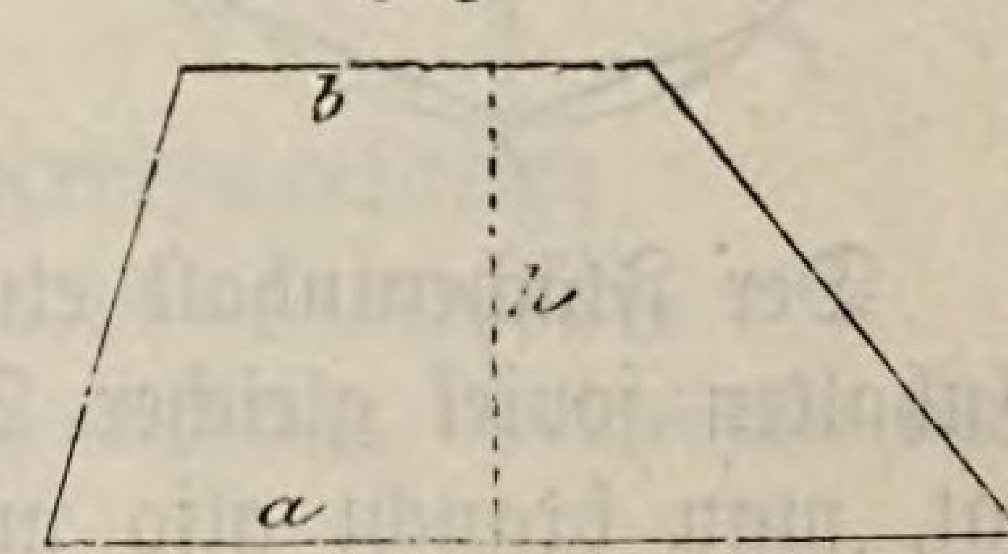
Fig. 72.



Die Verbindungslinie zweier gegenüberliegender Ecken in einem Vierecke heißt die Diagonale. Jedes Parallelogramm wird durch eine Diagonale in zwei gleiche Dreiecke getheilt.

Trapez. Wenn bei einem Vierecke zwei Seiten a und b parallel sind, die beiden andern aber nicht, Fig. 73, so ist es ein Trapez.

Fig. 73.



3. Der Flächeninhalt eines Trapezes ist gleich dem Producte aus der halben Summe der parallelen Seiten mal der Höhe; diese ist der senkrechte Abstand der parallelen Seiten, also:

3) $$F = \frac{a + b}{2} \cdot h \text{ (Trapez).}$$

z. B. $a = 3{,}6\,m;\ b = 2{,}4\,m;\ h = 2{,}5\,m$

$$F = \frac{a + b}{2} \cdot h = \frac{3{,}6 + 2{,}4}{2} \times 2{,}5 = \frac{6}{2} \times 2{,}5 = 3 \times 2{,}5 = 7{,}5 \text{ qm.}$$

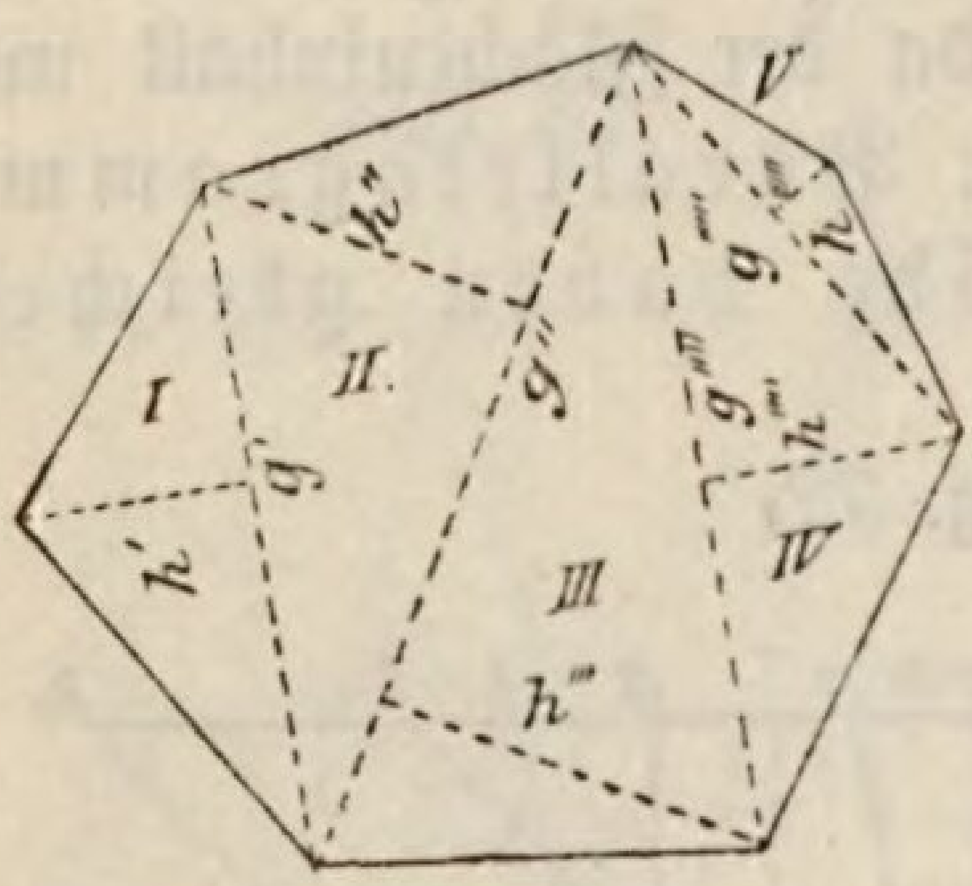
Trapezoid. Ein Viereck, bei welchem keine Seite der anderen parallel, welches also ganz unregelmäßig ist, heißt Trapezoid.

Um den Flächeninhalt eines Trapezoides zu finden, zerlegt man es durch eine Diagonale in zwei Dreiecke und berechnet dann jedes Dreieck in der bekannten Weise.

Das Vieleck. Den Flächeninhalt eines beliebigen Vieleckes findet man durch Zerlegung desselben in Dreiecke, welche man einzeln berechnet und die Flächeninhalte addirt, z. B. Fig. 74.

$$F = I + II + III + IV + V$$
$$= \frac{g'h'}{2} + \frac{g''h''}{2} + \frac{g'''h'''}{2} + \frac{g''''h''''}{2} + \frac{g'''''h'''''}{2}.$$

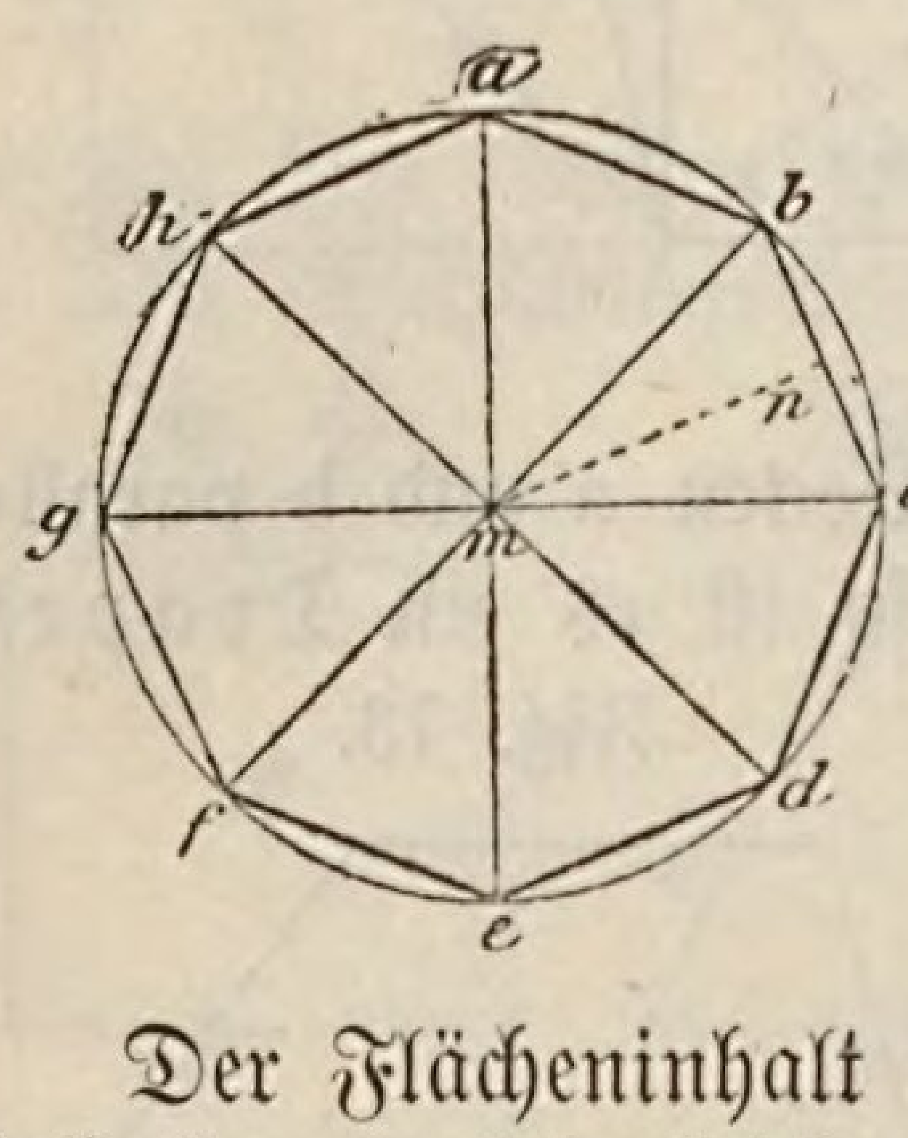
Fig. 74.



Vielecke mit gleichen Seiten und gleichen Winkeln nennt man regelmäßige, im andern Falle unregelmäßige.

Wenn das Vieleck eine gerade Anzahl Seiten hat und man verbindet zwei Paar gegenüberliegende Ecken, so ergiebt sich in dem Schnittpunkte der Mittelpunkt.

Fig. 75.



Die Ecken abc... liegen alle in dem Umfange eines um m beschriebenen Kreises, man kann also am einfachsten ein regelmäßiges Vieleck zeichnen, indem man den Umfang eines Kreises in so viel Theile theilt, wie das Vieleck Seiten haben soll.

Wenn man bei einem regelmäßigen Vielecke, Fig. 75, von den Mitten zweier Seiten nach Innen senkrechte Linien zieht, so schneiden sich dieselben in einem Punkte, welcher Mittelpunkt des Vieleckes ist.

Der Flächeninhalt eines regelmäßigen Vielecks setzt sich aus den Inhalten soviel gleicher Dreiecke zusammen, wie das Vieleck Seiten hat, man braucht also nur eines zu berechnen.

In Fig. 75 ist

$$mbc = \frac{bc \,.\, mn}{2}$$

und der Flächeninhalt des Vieleckes gleich

$$8 \,.\, \frac{bc \,.\, mn}{2} = 4 \,.\, bc \cdot mn.$$

Der Kreis. Die Kreislinie ist eine in sich geschlossene krumme Linie, deren Punkte alle gleich weit von einem Mittelpunkte m, Centrum, Fig. 76, entfernt sind. Die eingeschlossene Fläche ist die Kreisfläche und die Begrenzungslinie der Kreisumfang (Peripherie). Eine Linie r von dem Centrum nach der Peripherie heißt Halbmesser oder Radius. Eine Linie d durch den Mittelpunkt, deren Enden im Kreisumfange liegen, heißt Durchmesser oder Diameter. Der Durchmesser ist doppelt so lang wie der Halbmesser

$$d = 2r.$$

Eine Linie s, welche nicht durch den Mittelpunkt geht, deren Endpunkte aber in der Peripherie liegen, heißt Sehne. Das Stück a, welches dadurch von der Kreisfläche abgeschnitten wird, nennt man Kreisabschnitt. Ein Stück b = ce von dem ganzen Umfange nennt man Bogenstück. Ein von zwei Radien r′ r″ und dem zugehörigen Bogenstücke b eingeschlossenes Stück g wird Kreisausschnitt genannt.

Ein Winkel w, welchen zwei Radien r′ r″ am Mittelpunkte bilden, heißt Centriwinkel.

4. Der Umfang eines Kreises ist gleich dem Durchmesser d multiplicirt mit $\frac{22}{7}$ oder, da $\frac{22}{7} = 3{,}1416 \,..$, auch gleich dem Durchmesser mal 3,1416.

$\frac{22}{7}$ oder 3,1416 .. bezeichnet man mit π (pi ein griechischer Buchstabe), so daß

$$U = d\pi, \text{ (Kreisumfang)}$$

oder da $d = 2r$,

$$U = 2r\pi, \text{ (Kreisumfang)}$$

z. B. $d = 5{,}19\,m$, so ist $U = 5{,}19 \times 3{,}14 = 16{,}2966\,m$.

Wenn es nicht auf ganz genaue Rechnung ankommt, so rechnet man mit $\pi = 3{,}14$ anstatt $\pi = 3{,}1416 \ldots$

5. Um den Flächeninhalt F eines Kreises zu finden, multiplicirt man den Radius r mit sich selbst und das Product mit π, also

5) $F = r \cdot r \cdot \pi = \pi r^2$ **(Kreisfläche).**

Da nun

$$r = \frac{d}{2}, \text{ also } r^2 = \frac{d^2}{2^2} = \frac{d^2}{4},$$

so ist auch

$$F = \pi \frac{d^2}{4}$$ **(Kreisfläche),**

z. B. $r = 2{,}76$ m

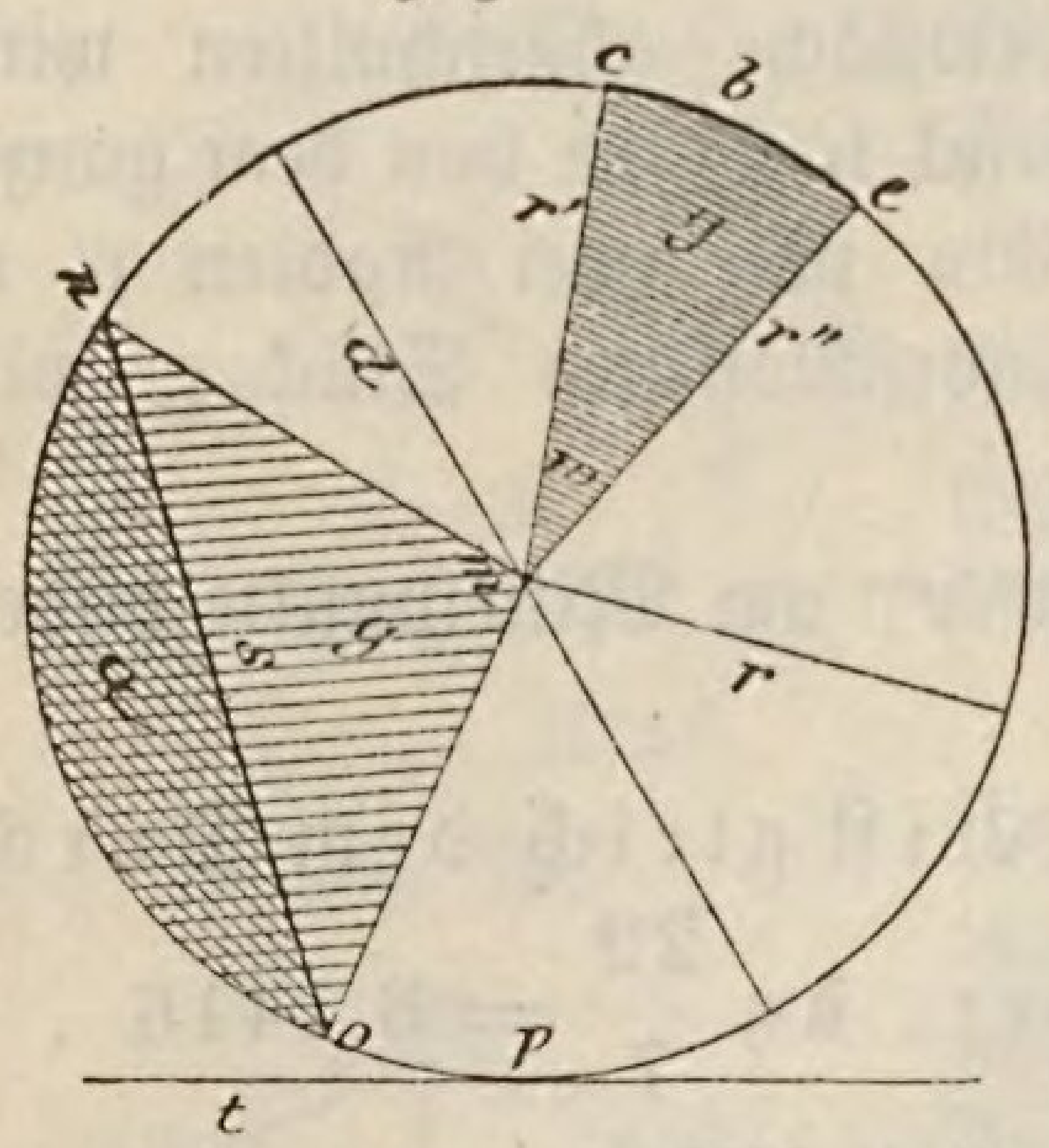
$$F = 2{,}76^2 \cdot \pi = 2{,}76 \times 2{,}76 \times 3{,}14 = 23{,}919264 \text{ qm}$$
$$= 23{,}92 \text{ (abgekürzt)},$$

oder $d = 5{,}52$ m;

$$F = \pi \frac{d^2}{4} = 3{,}14 \cdot \frac{5{,}52^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 5{,}52 \cdot 5{,}52}{4} = 23{,}92 \text{ qm}.$$

Um die Länge eines Bogenstückes b, Fig. 76, berechnen zu können, muß man die Größe des zugehörigen Centriwinkels w kennen. Um m liegen, im Ganzen 360°.

Fig. 76.



Für einen Centriwinkel von 1° ist die Länge des zugehörigen kleinen Bogenstückes = dem 360ten Theile des ganzen Umfanges U. Wenn also für das Bogenstück b der Centriwinkel w° ist, so ist

6) $b = \frac{U}{360} \cdot w$ **(Bogenstück).**

Ist z. B. $d = 1{,}3$ m
$w = 60^0$,

so ist: $U = d\pi$ und $b = \frac{d\,\pi \cdot w}{360} = \frac{1{,}3 \cdot 3{,}14}{6} = 0{,}68$ m

6. Um die Länge eines Bogenstückes zu finden, dividirt man den zugehörigen Centriwinkel durch 360 und multiplicirt mit der Länge des ganzen Umfanges.

7. Um den Flächeninhalt eines Kreisausschnittes zu finden, dividirt man den Centriwinkel durch 360

und multiplicirt mit dem Flächeninhalt des ganzen Kreises

7) $$g = \frac{w}{360} \cdot F = \frac{w}{360} \cdot \pi \cdot r^2$$ **(Kreisausschnitt)**

z. B. $w = 90^0$
$r = 3$ m,

so ist $$g = \frac{90}{360} \cdot 3{,}14 \cdot 3^2 = \frac{1}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 9 = 7{,}06 \text{ qm}.$$

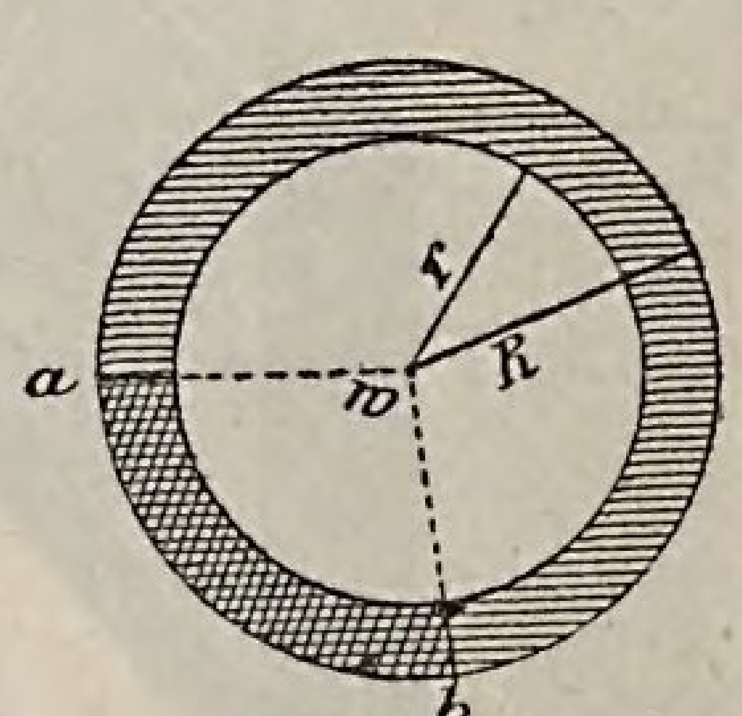
8. Um den Flächeninhalt eines Kreisabschnittes a, Fig. 76, zu finden, berechnet man zuerst den ganzen Kreisausschnitt g, dann das von der Sehne und den beiden Radien gebildete Dreieck mno und zieht dieses von jenem ab.

Liegen zwei Figuren ineinander und es soll die von den Seiten beider Figuren eingeschlossene Fläche F berechnet werden, so zieht man den Flächeninhalt der kleineren Figur von dem der größeren ab, z. B. Fig. 77, Kreis im Kreise.

9) $$F = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi (R^2 - r^2)$$ **(Kreisring)**

z. B. $R = 13$ m, $r = 12$ m
$F = \pi (R^2 - r^2)$, $R^2 - r^2 = 13^2 - 12^2 = 169 - 144 = 25$
$F = \pi \,.\, 25 = 3{,}14 \,.\, 25 = 78{,}5$ qm.

Fig. 77.



Um das Stück eines Kreisringes zu berechnen, multiplicirt man den ganzen Kreisring $\pi (R^2 - r^2)$ mit dem Centriwinkel w und dividirt durch 360

$$f = \frac{w}{360} \pi (R^2 - r^2).$$

Unregelmäßige geradlinige Figuren kann man immer in mehrere zerlegen, diese einzeln berechnen und die Flächeninhalte summiren. Oft ist es einfacher, die Figur zu einer anderen größeren zu vervollständigen, diese zu berechnen und das Hinzugefügte wieder zu subtrahiren.

d. Körper.

Ein Körper ist ein überall von Flächen begrenzter Theil des Raumes. Die Flächen können gerade und auch krumm, auch theils gerade und theils krumm sein. Den Gesammtflächeninhalt aller umschließenden Flächen nennt man die Oberfläche. Wenn zwei Flächen eines Körpers überall denselben Abstand von einander haben, so sind sie parallel und werden Grundflächen genannt, die anderen Flächen heißen Seitenflächen. Wo zwei Flächen zusammenstoßen bildet sich eine Linie, Kante genannt, und unterscheidet

man nach der Benennung der Flächen Grundkanten und Seitenkanten.

Körpermaße.

Die Grundlage bildet das Cubikmeter cbm oder der Cubikstab.

Die Einheit ist der tausendste Theil des Cubikmeters und heißt das Liter l oder die Kanne.

Das halbe Liter heißt der Schoppen.

Hundert Liter oder der zehnte Theil des Cubikmeters heißen das Hectoliter, hl, oder das Faß.

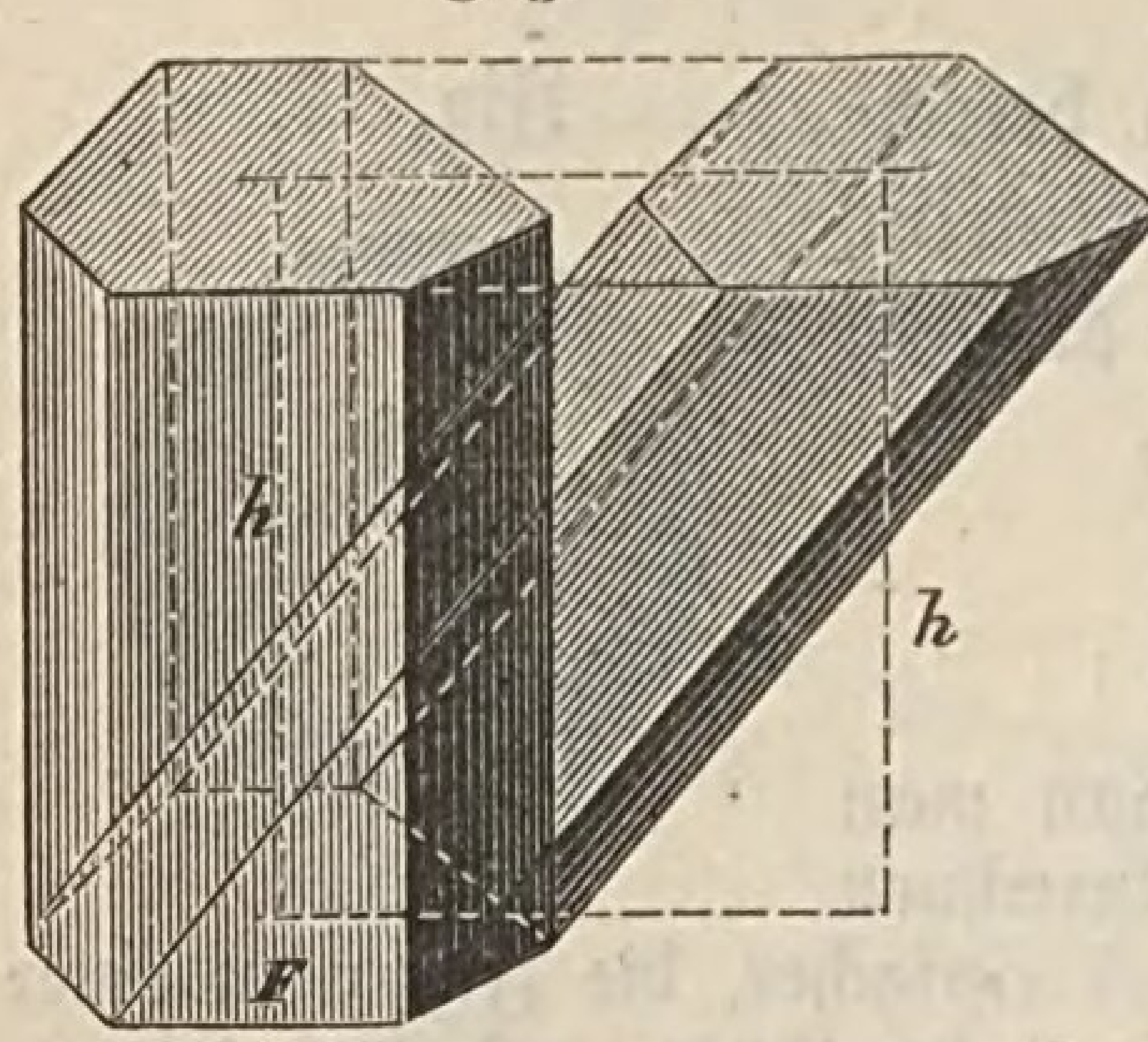
Fünfzig Liter sind ein Scheffel.

Cubikcentimeter = ccm, Cubikmillimeter cmm.

Das Prisma. Ein Körper, welcher zwei gleiche und parallele Grundflächen hat und dessen Seiten Parallelogramme sind, heißt Prisma. Da die Grundflächen Dreiecke, Vierecke und Vielecke sein können, so unterscheidet man drei-, vier- und vielseitige Prisma. Wenn die Seitenflächen senkrecht zur Grundfläche sind, so ist das Prisma ein gerades, sonst ein schiefes, Fig. 78.

Die Höhe h eines Prisma ist die senkrechte Entfernung der Grundflächen von einander, also h in den Fig. 78—81.

Fig 78.



Wenn bei einem Prisma die Grundfläche ein Parallelogramm ist, so heißt es Parallelpiped, Fig. 81, welches wieder gerade und schief sein kann. Wenn die Grundfläche bei einem geraden Parallelepiped ein Rechteck ist, so ist es ein rechtwinkeliges. Wenn bei diesem die Grundfläche ein Quadrat und die Höhe gleich einer Seite dieses ist, so ist das Parallelepiped ein Würfel oder Cubus, Fig. 79.

Fig. 79.

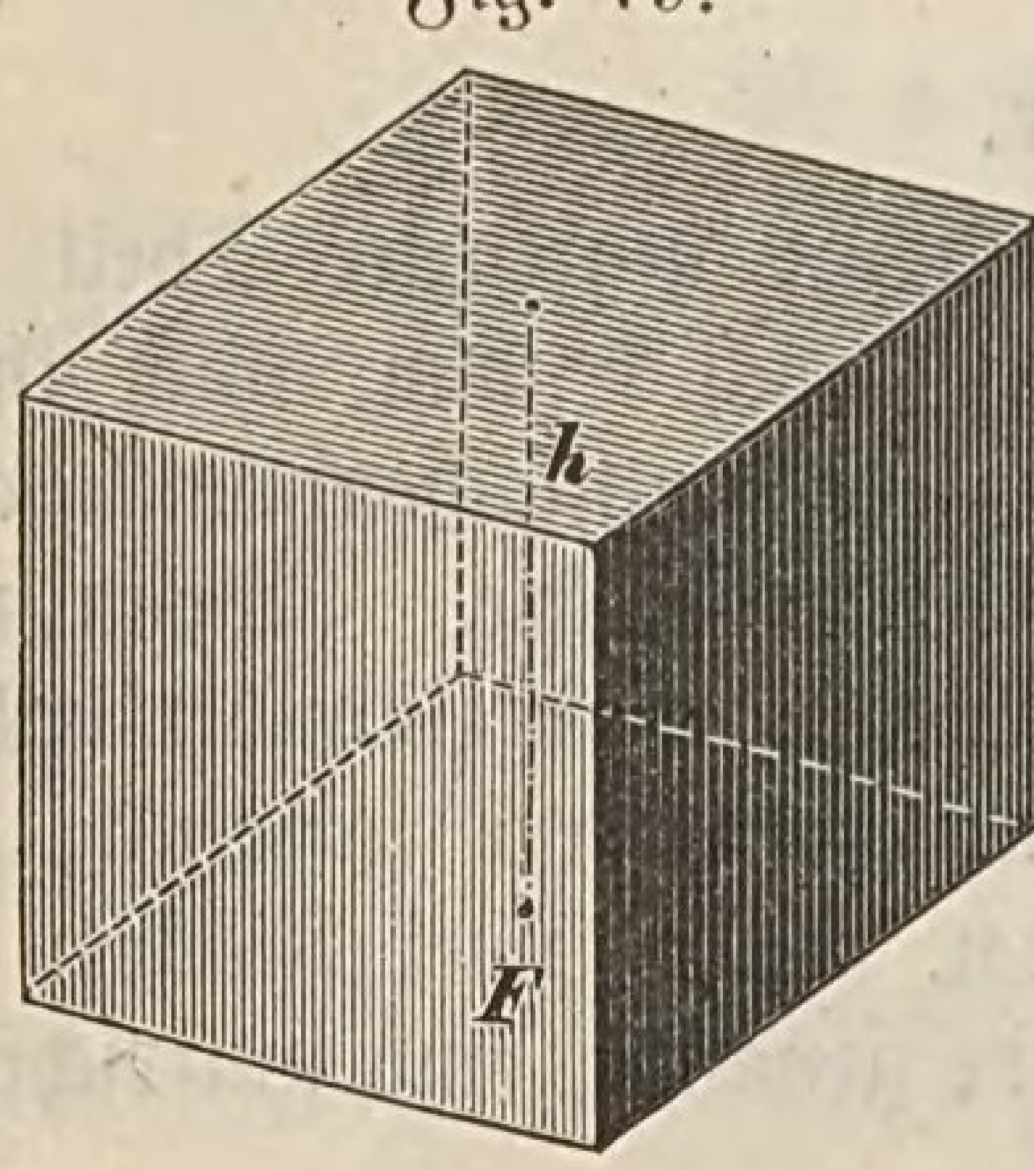
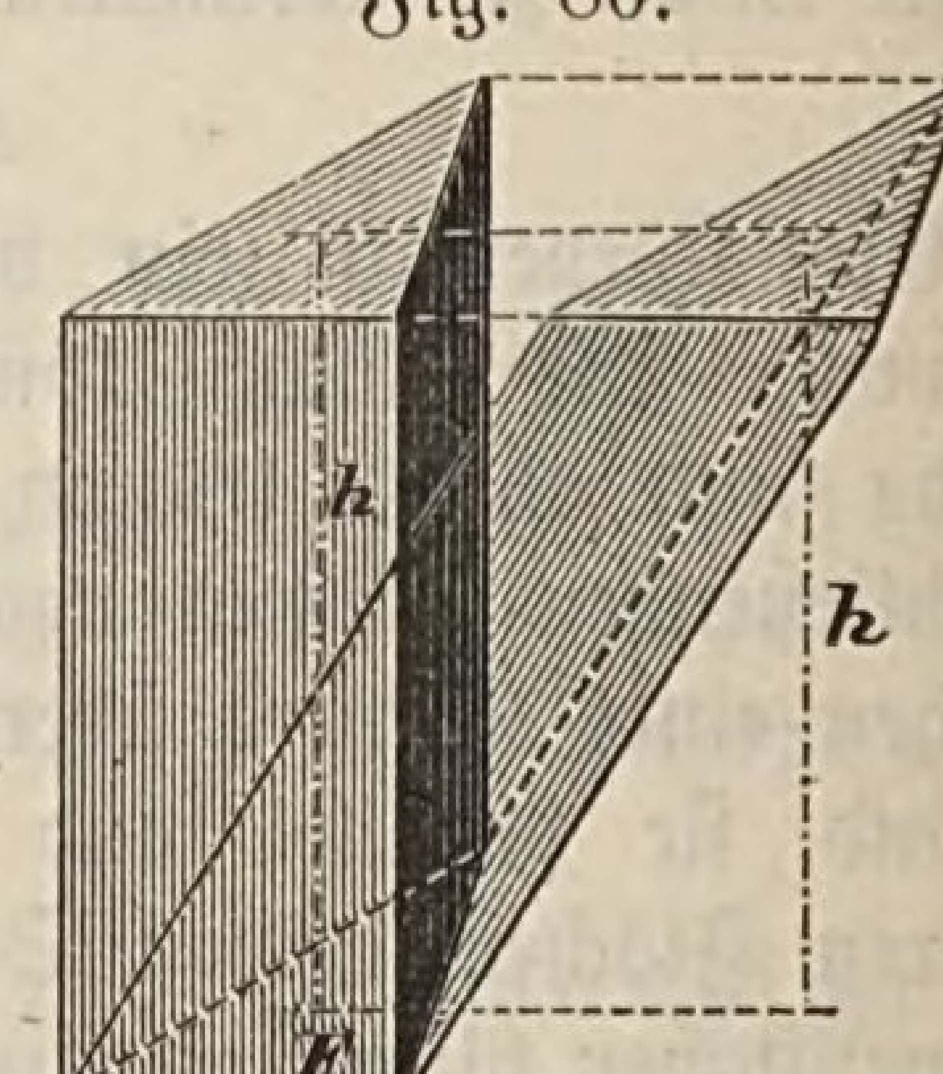


Fig. 80.

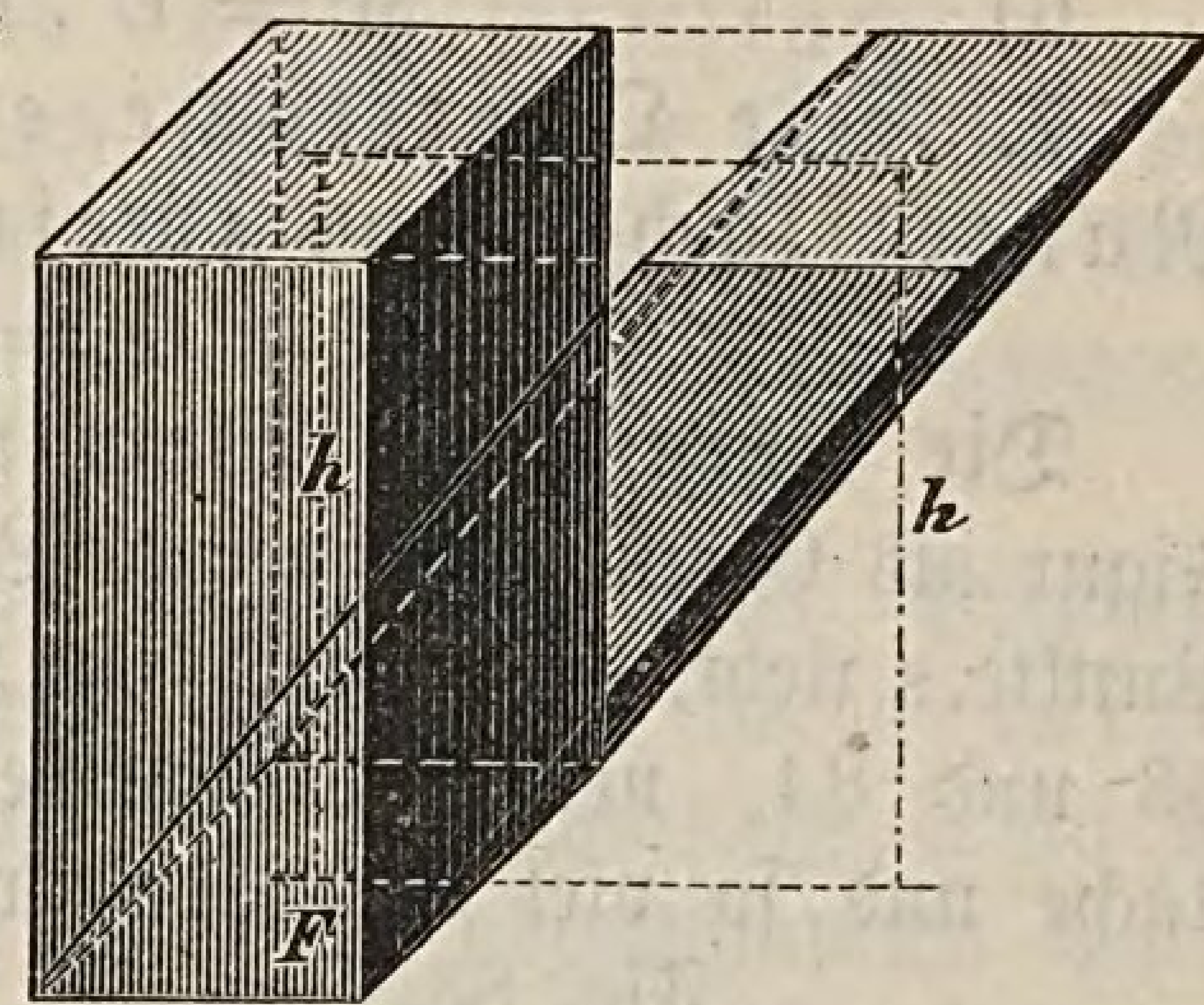


1. Der Inhalt J eines Prisma ist gleich der Grundfläche F mal der Höhe h.

$$J = F \, . \, h \quad \textbf{(Prisma)}.$$

In allen Fällen berechnet man also zunächst die Grundfläche, welche Dreieck, Viereck und Vieleck sein kann.

Fig. 81.



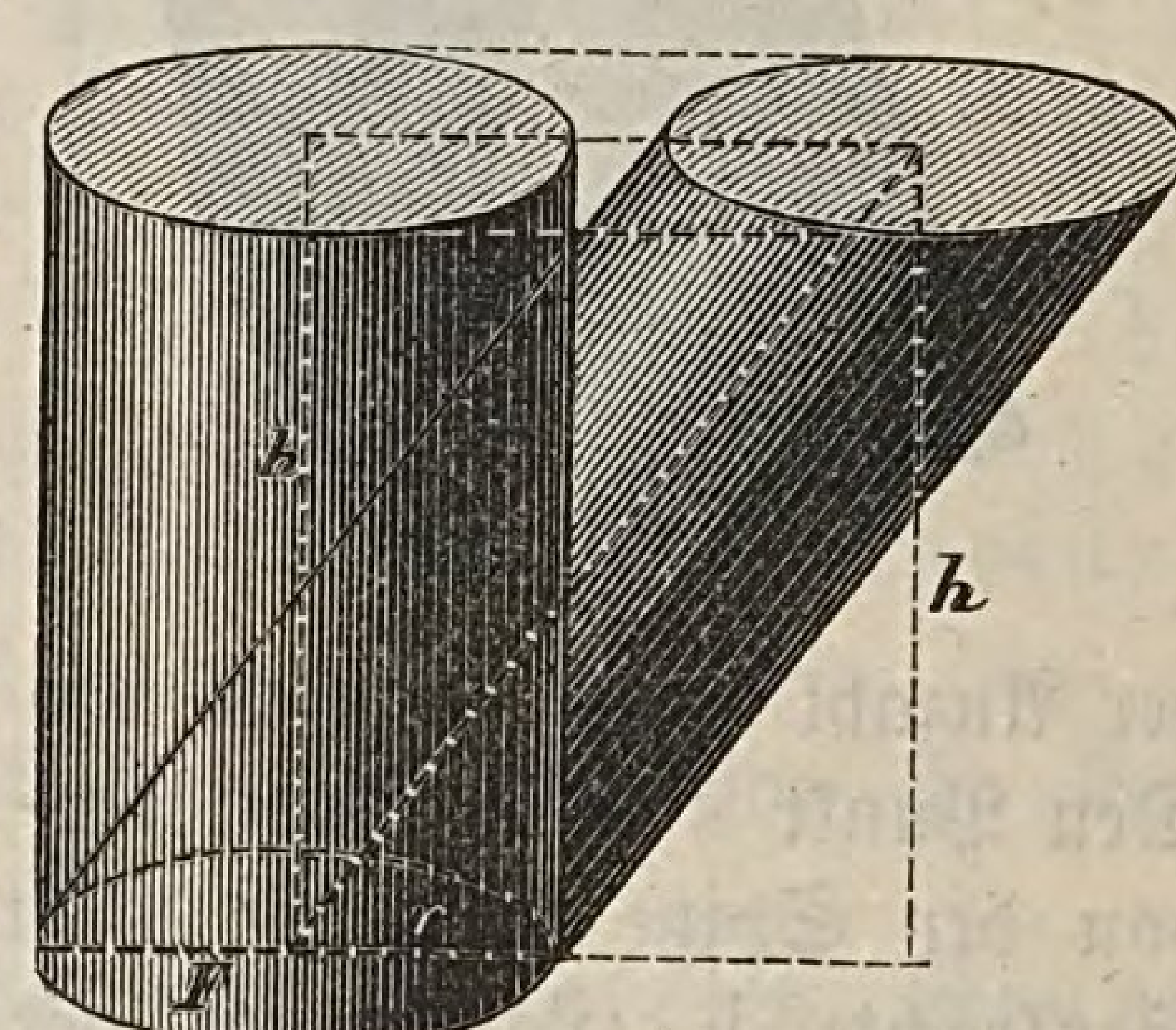
Da bei einem Würfel die Höhe gleich einer Seite s der Grundfläche und diese $= s^2$ ist, so ist

2) $J = s^2 \, . \, s = s^3$ **(Würfel).**

3. Die Oberfläche eines Prisma ist gleich der Summe aus den beiden Grundflächen plus der Summe aus allen Seitenflächen.

Der Cylinder, Fig. 82. Der Cylinder ist ein Prisma, dessen Grundflächen Kreise sind. Die Verbindungslinie der Kreismittelpunkte heißt die Achse des Cylinders. Wenn diese senkrecht zu den Grundflächen steht, so heißt der Cylinder gerade oder normal, sonst schief. Die Höhe des Cylinders ist gleich dem senkrechten Abstande der Grundflächen, bei einem geraden Cylinder ist also die Höhe gleich der Länge der Achse.

Fig. 82.



4. Der Inhalt eines Cylinders ist gleich Grundfläche mal Höhe.

Da hier die Grundfläche $F = \pi r^2$, so ist also

4) $J = \pi r^2 \, . \, h$ **(Cylinderinhalt).**

5. Der Inhalt eines hohlen Cylinders J^1 (Röhre) ist gleich Ringfläche mal Höhe.

Die Ringfläche ist $= \pi (R^2 - r^2)$, (siehe 9 Seite 37) also:

5) $J^1 = h \, . \, \pi (R^2 - r^2)$ **(Röhreninhalt).**

Die Oberfläche eines Cylinders setzt sich zusammen aus den beiden Grundflächen und einer krummen Fläche, welche letztere man allein Cylindermantel oder Mantelfläche M nennt.

6. Die Mantelfläche eines Cylinders ist gleich dem Umfange der Grundfläche mal der Höhe.

Da der Umfang der Grundfläche (Kreis) $U = 2\pi r$ ist, so ist

6) $$M = U \cdot h = 2\pi r \cdot h \quad \textbf{(Mantelfläche).}$$

7. Die Oberfläche eines Cylinders ist gleich der Mantelfläche plus zweimal Grundfläche, also

$$O = M + 2F \quad \textbf{(Cylinderoberfläche).}$$

Die Pyramide. Wenn man von den Ecken einer gradlinigen Figur als Grundfläche gerade Linien nach einem außerhalb liegenden Punkte s zieht, so entsteht ein Körper, den man Pyramide, Fig. 83 und 84, nennt. Dieselbe wird also begrenzt von der Grundfläche und so viel Dreiecken, wie die Grundfläche Seiten hat. Nach

Fig. 83.

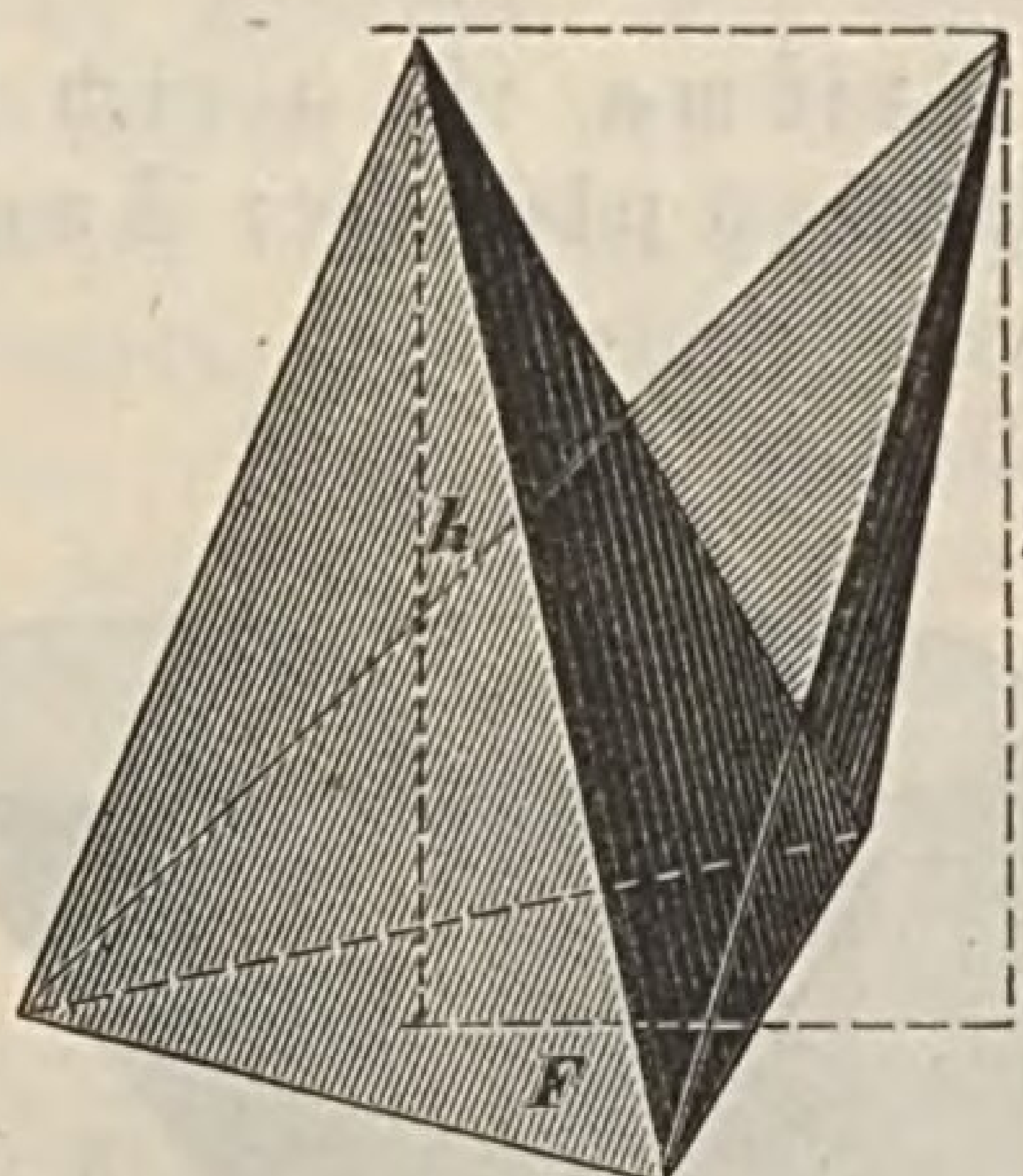
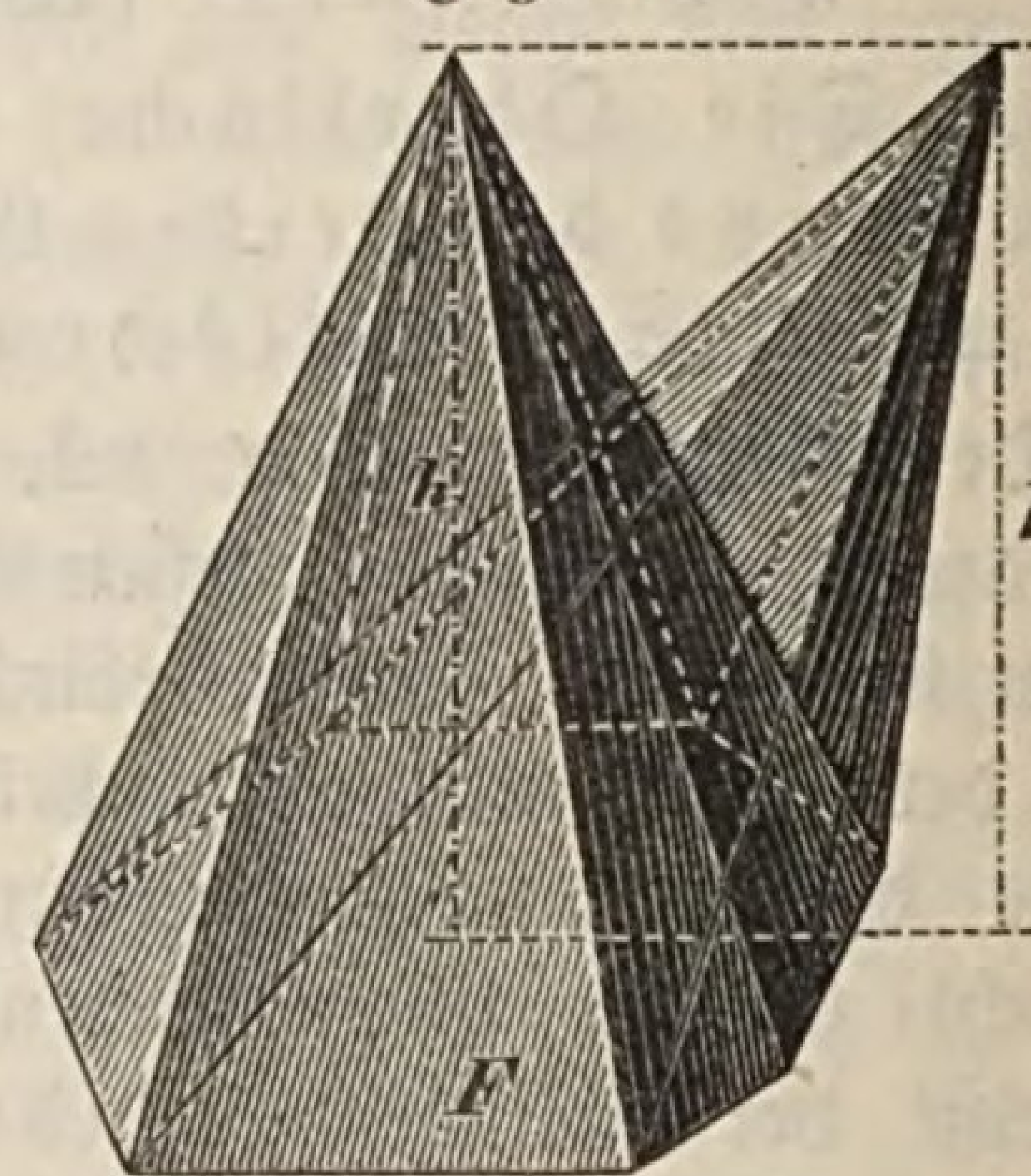


Fig. 84.



der Anzahl dieser giebt es also drei-, vier- und vielseitige Pyramiden. Den Punkt s nennt man die Spitze der Pyramide und die Linie von der Spitze nach der Mitte der Grundfläche die Achse. Eine Senkrechte h (Loth) von der Spitze auf die Grundfläche ist die Höhe der Pyramide. Wenn die Grundfläche regelmäßig ist, so ist auch die Pyramide eine regelmäßige, und wenn die Achse senkrecht zu der Grundfläche steht, so ist die Pyramide gerade, sonst schief.

8. Der Inhalt einer Pyramide ist gleich Grundfläche mal Höhe dividirt durch 3, also gleich dem dritten Theil eines Prisma von gleicher Grundfläche und Höhe

$$J = \frac{Fh}{3} \quad \textbf{(Pyramide).}$$

z. B. Die Grundfläche sei ein Parallelogramm, dessen Grundlinie 2,31 cm und dessen Höhe 1,91 cm ist, die Höhe der Pyramide sei 12,9 cm, also

$$F = 2{,}31 \times 1{,}91 = 4{,}4221 \text{ qcm und}$$

$$J = \frac{F\,H}{3} = \frac{4{,}221 \times 12{,}9}{3} = 19{,}015 \text{ ccm.}$$

9. Die Oberfläche einer Pyramide ist gleich der Grundfläche plus der Summe der Seitenflächen.

Da die Seitenflächen Dreiecke sind, so berechnen sich diese aus den Grundlinien und den Höhen der Dreiecke, d. h. aus den betr. Seiten der Grundfläche und den von der Spitze auf diese gezogenen Senkrechten.

10. **Abgestumpfte Pyramide.** Wenn von einer Pyramide ein Stück abgeschnitten wird, so heißt das untere eine gekürzte oder abgestumpfte Pyramide und das abgeschnittene Stück die Ergänzungspyramide. Wenn bei einer abgestumpften Pyramide die untere (größere) Grundfläche $= F$, die obere (kleinere) $= f$ und die senkrechte Entfernung der Grundflächen $= h$ (d. i. die Höhe der abgestumpften Pyramide) ist, so ist der Inhalt

$$J = \frac{h}{3}\left(F + f + \sqrt{F \cdot f}\right) \text{ (abgestumpfte Pyramide).}$$

d. h.: Um den Inhalt einer gekürzten Pyramide zu finden, multiplicire man die beiden Endflächen miteinander und ziehe aus dem Producte die Quadratwurzel, die Wurzel addire man zu der Summe der beiden Grundflächen und multiplicire die so erhaltene Summe mit dem Dritttheil der Höhe der gekürzten Pyramide.

Der Kegel. Wenn die Grundfläche der Pyramide ein Kreis ist, so heißt dieser Körper Kegel, Fig. 85.

11. Der Inhalt eines Kegels ist gleich Grundfläche mal Höhe dividirt durch 3, also gleich dem dritten Theile eines Cylinders von gleicher Grundfläche und Höhe.

Da die Grundfläche $F = \pi r^2$, so ist

$$J = \frac{F \cdot h}{3} = \frac{h}{3} \pi r^2 \text{ (Kegel).}$$

Mit der Spitze, Höhe, Achse u. s. w. verhält es sich wie bei der Pyramide.

Die Begrenzungsfläche von der Spitze bis zur Grundfläche ist die Kegelfläche oder der Mantel des Kegels.

12. Die Mantelfläche eines geraden Kegels ist gleich der Hälfte eines Cylinders von gleicher Grundfläche und einer Höhe gleich der Seitenlinie s des Kegels.

$$M = \pi r s \text{ (Kegelmantel).}$$

13. Um die Mantelfläche M^1 eines gerade abgeschnittenen Kegels, Fig. 86, zu finden, addire man die

Fig. 85.

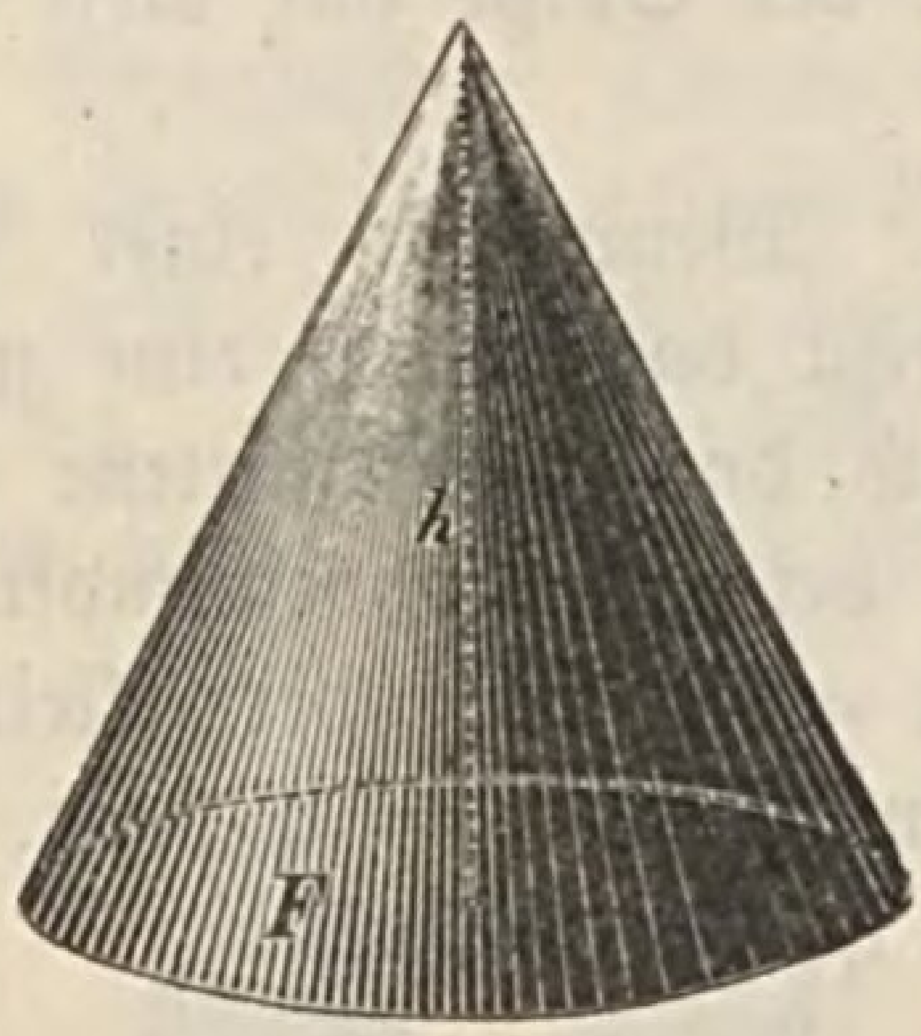


Fig. 86.



Radien der Grundflächen und multiplicire mit π . s wobei s die Seitenlinie ist.

$M^1 = (R + r) \pi s$ **(abgestumpfter Kegel).**

14. Bei der abgestumpften Pyramide war der Inhalt

$$J = \frac{h}{3} (F + f + \sqrt{F \cdot f}) \text{ (siehe 10),}$$

bei dem abgekürzten Kegel (Conus) ist es ebenso, nur kann man, wenn R und r die Radien sind,

$$F = \pi R^2, \; f = \pi r^2 \text{ und}$$
$$\sqrt{F \cdot f} = \sqrt{\pi R^2 \cdot \pi r^2} = \sqrt{\pi^2 R^2 r^2} = \pi R \cdot r$$

setzen

$$\text{also: } J = \frac{h}{3} (\pi R^2 + \pi r^2 + \pi R r)$$

$$\text{oder } J = \frac{h \pi}{3} (R^2 + r^2 + R r)$$ **(abgestumpfter Kegel).**

Um den Inhalt eines gekürzten Kegels zu finden, addire man die Quadrate beider Radien $(R^2 + r^2)$ und addire zu diesen das Product aus den beiden Radien $(R . r)$, die sich ergebende Summe $(R^2 + r^2 + Rr)$ multiplicirt man mit πh und dividirt das sich ergebende Product durch 3.

Wenn die Höhe des ganzen Kegels und die des Ergänzungskegels bekannt ist, also H und h, so ist der Inhalt des ganzen

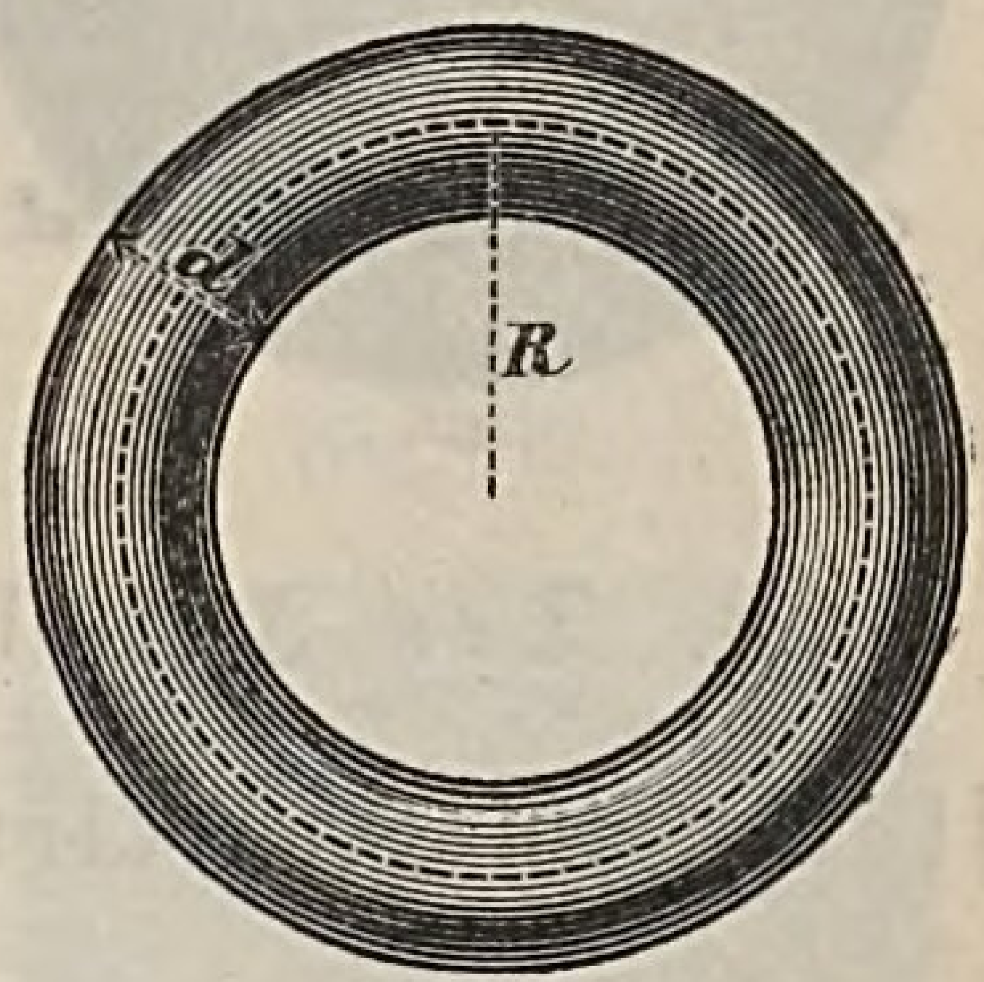
Kegels $= \frac{\pi R^2 H}{3}$ und der der abgeschnittenen Spitze $= \frac{\pi r^2 h}{3}$, also der Inhalt der gekürzten Pyramide

14a. $J = \frac{\pi R^2 H}{3} - \frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{\pi}{3}(R^2 H - r^2 h)$ **(abgestumpfter Kegel).**

Bei einem Ringe, Fig. 87, ist der kreisförmige Querschnitt

$$f = \pi \frac{d^2}{4} = \pi r^2.$$

Fig. 87.



Die Mittellinie ist lang:

$$2 \pi R,$$

also der Inhalt:

$J = 2 \pi R . \pi r^2 = \pi^2 2 R . r^2$ **(Ring).**

Die Kugel. Ein Körper, umschlossen von einer krummen Fläche, deren Punkte alle gleich weit von einem im Innern liegenden Punkte, Mittelpunkt, entfernt sind, heißt Kugel. Eine Linie durch den Mittelpunkt, deren Endpunkte in der Körperfläche liegen, heißt Durchmesser. Ein Schnitt durch den Mittelpunkt theilt die Kugel in zwei gleiche Halbkugeln. Durch jeden andern Schnitt entstehen ein kleinerer und ein größerer Kugelabschnitt, auch Kugelhaube genannt. Die krumme Fläche dieser, also ein Theil der Oberfläche, heißt Calotte. Zwei parallele Schnitte theilen die Kugel in drei Theile, die beiden äußeren sind Kugelschnitte (Calotten), der mittlere heißt Kugelzone. Jeder Kugelschnitt ergiebt einen Kreis, Kugelkreis genannt. Wenn man auf den Kugelkreis einen Kegel setzt, dessen Grundfläche dieser Kugelkreis ist und dessen Spitze im Mittelpunkte der Kugel liegt, so bekommt man den Kugelausschnitt. Wenn ein Kugelschnitt durch den Mittelpunkt geht, so entsteht ein größter Kugelkreis. Wenn der Radius der Kugel R ist, so ist der Flächeninhalt F des größten Kugelkreises

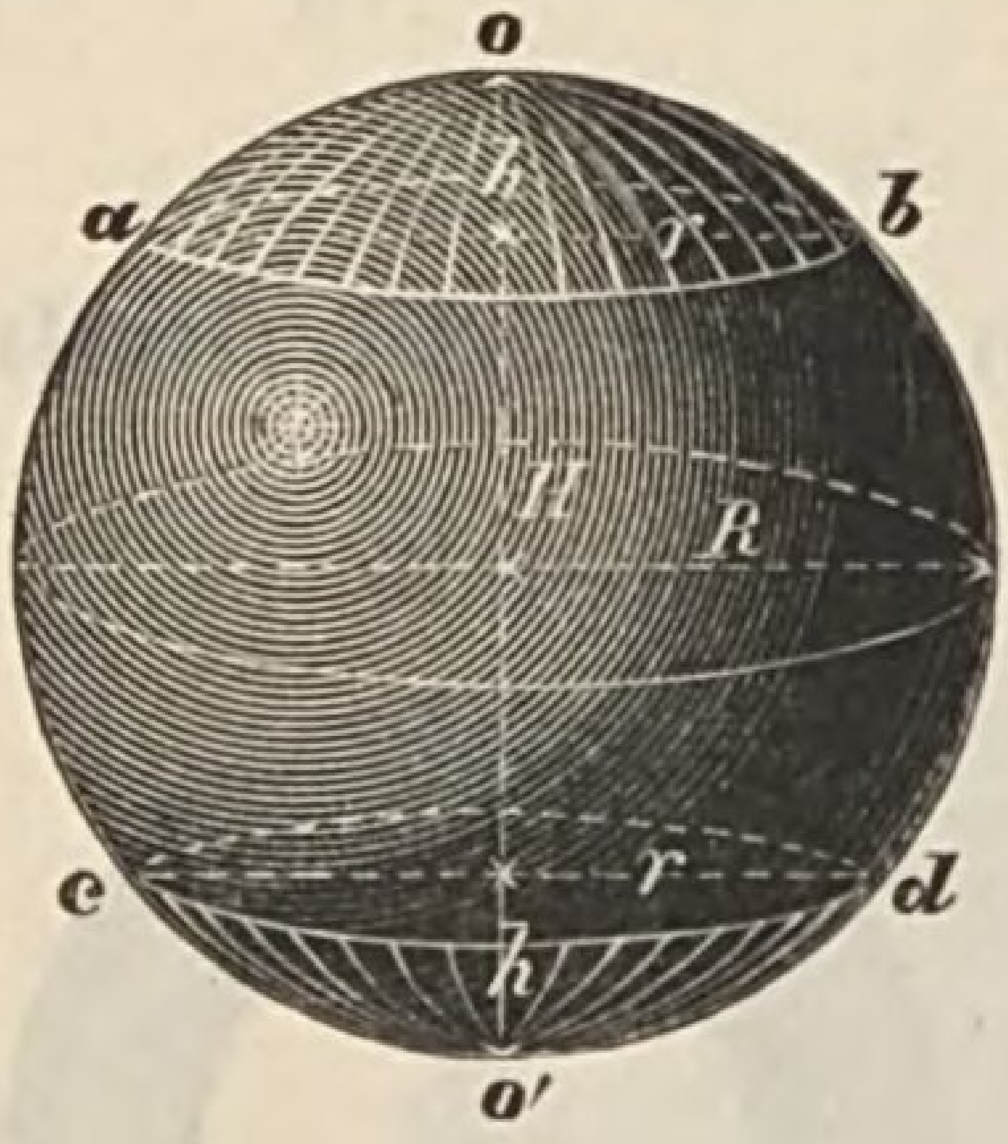
$$F = \pi R^2.$$

15. Die Oberfläche einer Kugel (O) ist gleich 4 mal dem größten Kugelkreise, also

$O = 4 F = 4 \pi R^2$ **(Kugeloberfläche).**

Der Umfang U des größten Kugelkreises ist $U = 2 \pi R$.

Fig. 88.



16. Die krumme Oberfläche einer Calotte ist gleich dem Umfange des größten Kugelkreises mal der Höhe der Calotte, also:

$$O = U h = 2 \pi R . h$$

(Calottenoberfläche).

17. Die krumme Oberfläche einer Kugelzone ist gleich dem Umfange des größten Kugelkreises mal der Höhe der Zone, also:

$$O = U H = 2 \pi R . H$$

(Zonenoberfläche).

18. Der Inhalt einer Kugel ist gleich der Oberfläche multiplicirt mit $\frac{R}{3}$, also:

$$J = O \cdot \frac{R}{3} = 4 \pi R^2 \cdot \frac{R}{3}; J = \frac{4}{3} \pi R^3$$ **(Kugelinhalt).**

19. Der Inhalt eines Kugelabschnittes ist, wenn r der Radius des Kugelkreises und h die Höhe des Abschnittes sind:

$$J = \frac{1}{6} \pi h (3 r^2 + h^2)$$

oder, wenn R der Radius der Kugel,

$$J = \frac{1}{3} \pi h^2 (3 R - h)$$ **(Kugelabschnitt).**

20. Der Inhalt einer Kugelzone ist, wenn r und r_1 die Radien der Endflächen und H die Höhe der Zone ist:

$$J = \frac{1}{6} \pi H (3 r^2 + 3 r_1{}^2 + H^2)$$ **(Kugelzone).**

21. Der Inhalt eines Kugelausschnittes ist, wenn R der Kugelradius und h die Höhe der entsprechenden Calotte sind:

$$J = \frac{2}{3} \pi R^2 h$$ **(Kugelausschnitt).**

Den Durchmesser einer Kugel nennt man auch ihre Höhe. Wenn in Fig. 89 ein Cylinder, ein Kegel und eine Kugel die gleiche Höhe $h = 2 r$ haben und Cylinder und Kegel haben die gleiche Grund=

fläche, deren Radius gleich dem der Kugel also $= r$ ist, so sind die Inhalte:

Kegel $= \frac{1}{3} \pi r^2 h$ oder da $h = 2r$; $J'' = \frac{2}{3} \pi r^3$

Kugel $= \frac{4}{3} \pi r^3$ . . . . . .; $J' = \frac{4}{3} \pi r^3$

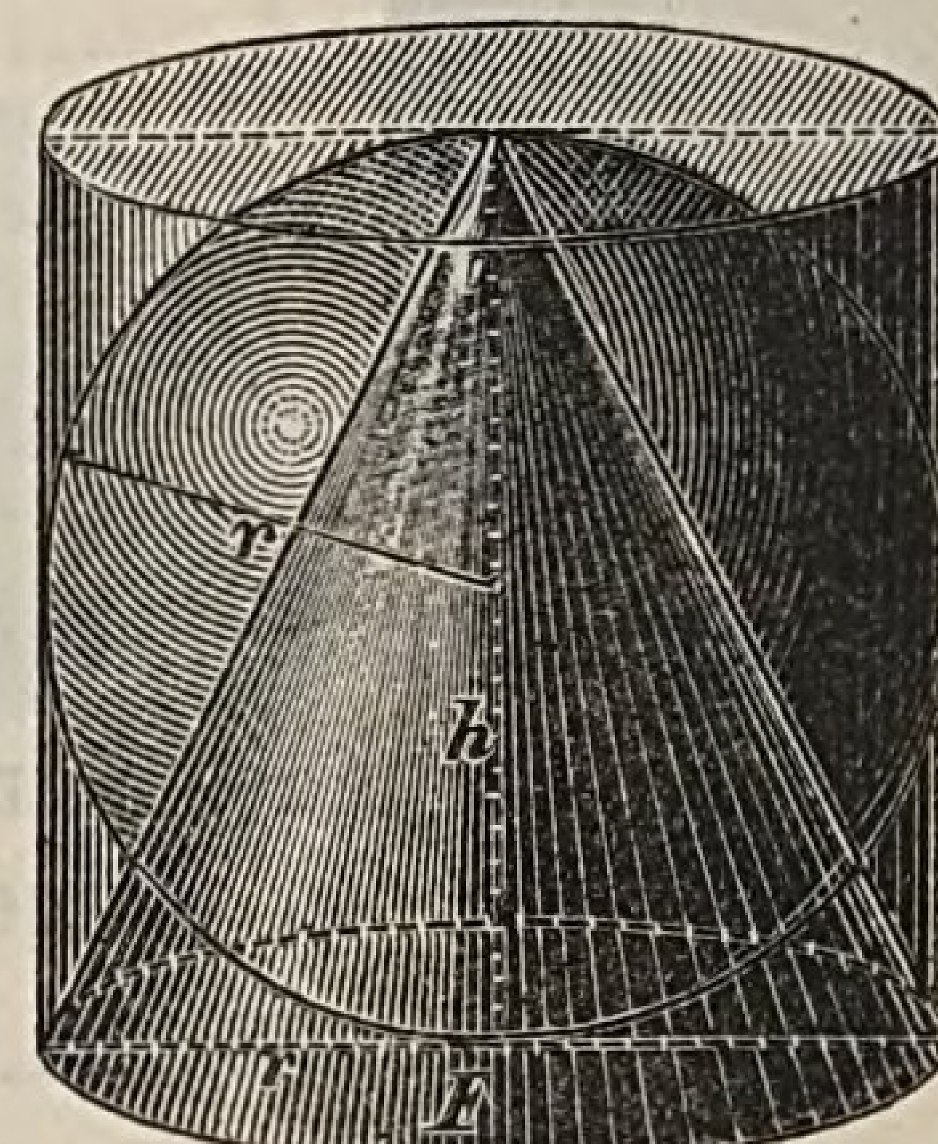
Cylinder $= \pi r^2 . h$ oder da $h = 2r$; $J = 2 \pi r^3$.

Es verhalten sich also die Inhalte von

$$\text{Kegel} : \text{Kugel} : \text{Cylinder} = \frac{2}{3} : \frac{4}{3} : 2 = 1 : 2 : 3.$$

22. Wenn ein Kegel, eine Kugel und ein Cylinder gleiche Höhe haben, und die Grundflächen vom Kegel und Cylinder haben denselben Durchmesser wie die Kugel, so verhalten sich die Inhalte des Kegels, der Kugel und des Cylinders wie 1 : 2 : 3.

Fig. 89.



Der Cubikinhalt eines hohlen, durchbrochenen oder gefäßartigen Körpers ist gleich dem ganzen Inhalte weniger dem des Hohlraumes oder des fehlenden Theiles.

23. Wenn bei einer hohlen Kugel R der äußere und r der innere Radius, so ist der körperliche Inhalt

$$J = \frac{4}{3} \pi R^3 - \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3) \text{ (**Hohlkugel**).}$$

24. Wenn die Länge einer Röhre $= L$, der äußere Radius $= R$ und der innere $= r$, so ist

$$J = \pi R^2 . L - \pi r^2 . L = \pi L (R^2 - r^2) \text{ (**Hohlcylinder**).}$$

25. **Inhalt eines Fasses.** Wenn die Böden kreisförmig sind mit einem Radius $= r$, und der innere Radius in der Mitte (beim Spunde) ist $= R$, die innere Höhe $= H$, so ist, wenn man das Faß als zwei abgekürzte Kegel betrachtet, (siehe 13),

$$J = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + R r) \text{ (**Faß**).}$$

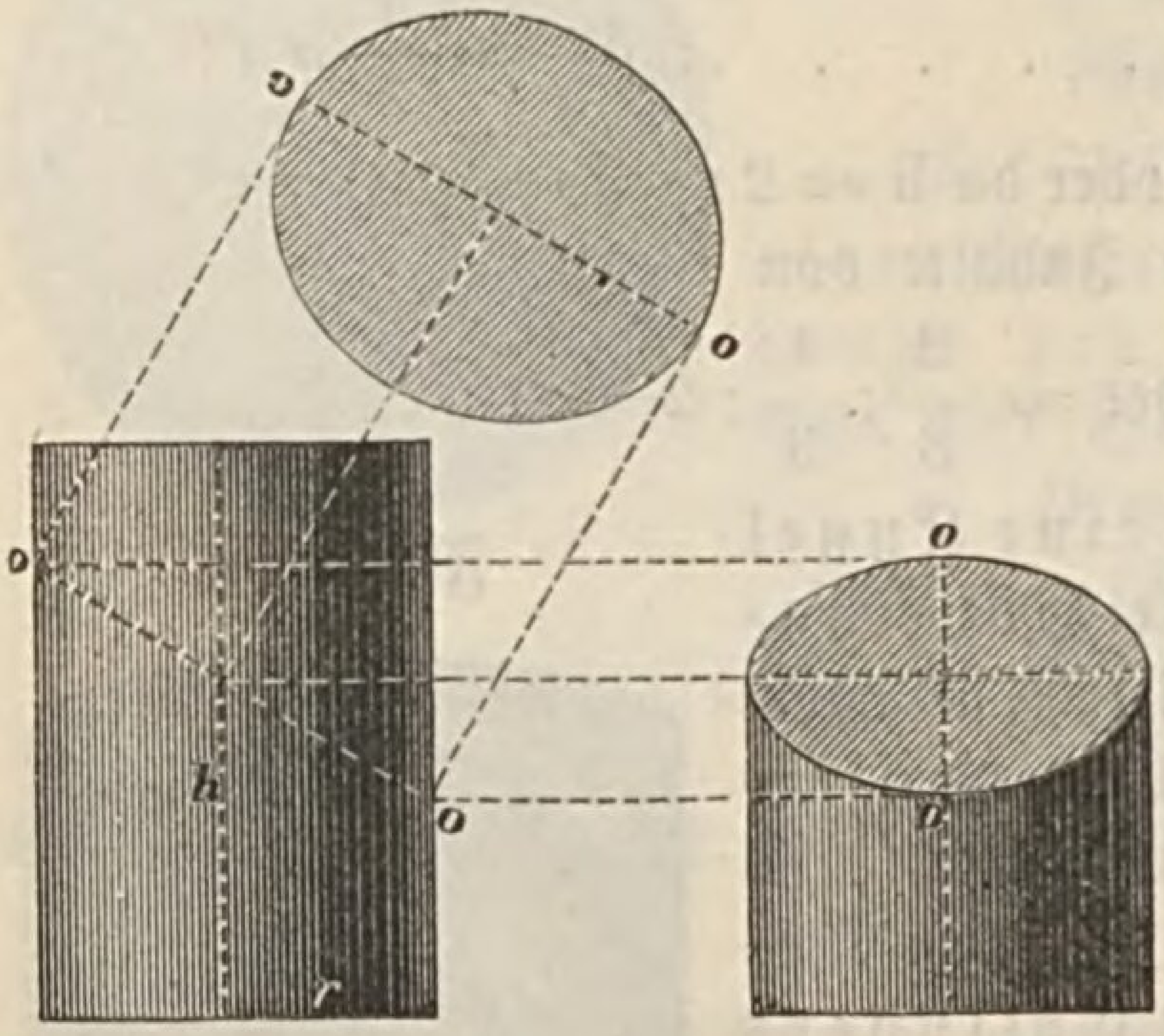
Wenn die Dauben nach einer Parabel geformt sind und man will bei der Inhaltsberechnung dieses in Betracht ziehen, so ist:

$$J = \frac{\pi H}{15} (8 R^2 + 4 R r + 3 r^2) \text{ (**Faß**).}$$

Cylinderschnitte.

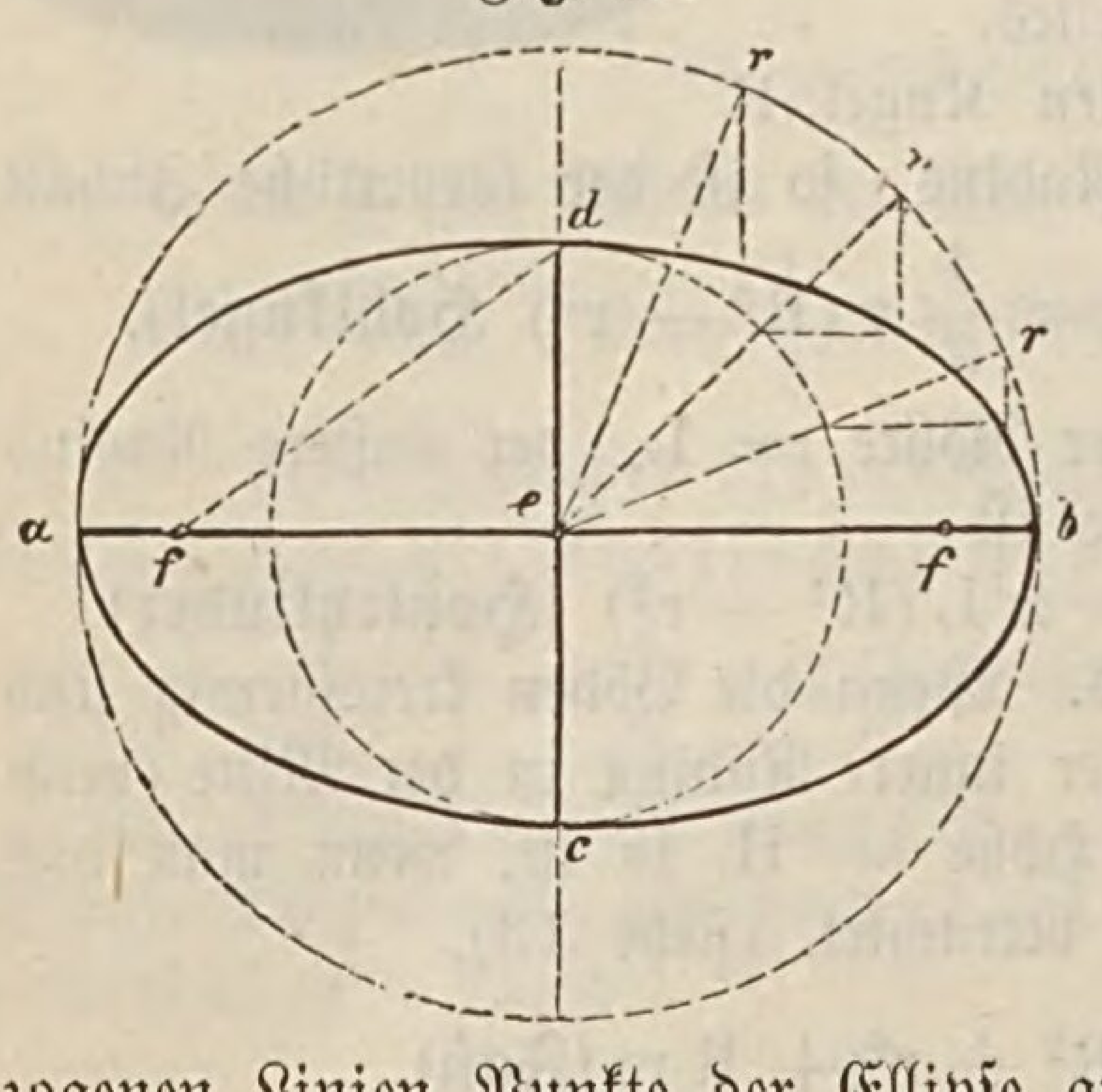
Ellipse. Wenn man einen geraden Cylinder, Fig. 90, senkrecht zur Achse h schneidet, so ist die Schnittfläche ein Kreis; eine zur Achse parallele Schnittfläche ist ein Rechteck; jeder andere Schnitt, z. B. der durch o o, Fig. 90, ergiebt eine Ellipse. Dieselbe hat einen größten und einen kleinsten Durchmesser, Achsen genannt, welche senkrecht auf einander stehen und sich gegenseitig halbiren. Je schiefer der Schnitt ist, um so länger ist die große Achse gegen die kleine, so daß man Ellipsen von der flachsten Form, bis zu solchen hat, welche dem Kreise nahe kommen.

Fig. 90.



Das Verfahren, eine Ellipse zu zeichnen, wenn die beiden Achsen gegeben sind, ist einfach. In Fig. 91 sei a b die große und c d die kleine Achse, welche sich in dem Mittelpunkt e schneiden. Man beschreibt um e mit der kleinen und großen Achse zwei Kreise und zieht eine beliebige Anzahl von Radien e r, e r . . . Aus den Durchschnittspunkten dieser Radien mit dem kleinen Kreise ziehe man Parallele mit der großen und aus den Endpunkten r r . . der Halbmesser e r, e r . . Parallele mit der kleinen Achse; es geben die Durchschnittspunkte der so gezogenen Linien Punkte der Ellipse an.

Fig. 91.



Wenn man um den Punkt d mit einem Radius gleich der halben großen Achse, also mit e a, einen Kreis schlägt, so ergeben sich mit der großen Achse zwei Durchschnittspunkte f f, welche man die Brennpunkte die Ellipse nennt. Wenn irgend ein Punkt des Umfanges

der Ellipse mit beiden Brennpunkten verbunden wird, so sind die beiden Verbindungslinien zusammengenommen immer so lang wie die große Achse.

Wenn die Achsen der Ellipse a und b sind, so ist der Flächeninhalt:

$$F = \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \pi$$

und der Umfang:

$$U = 3{,}08 \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}.$$

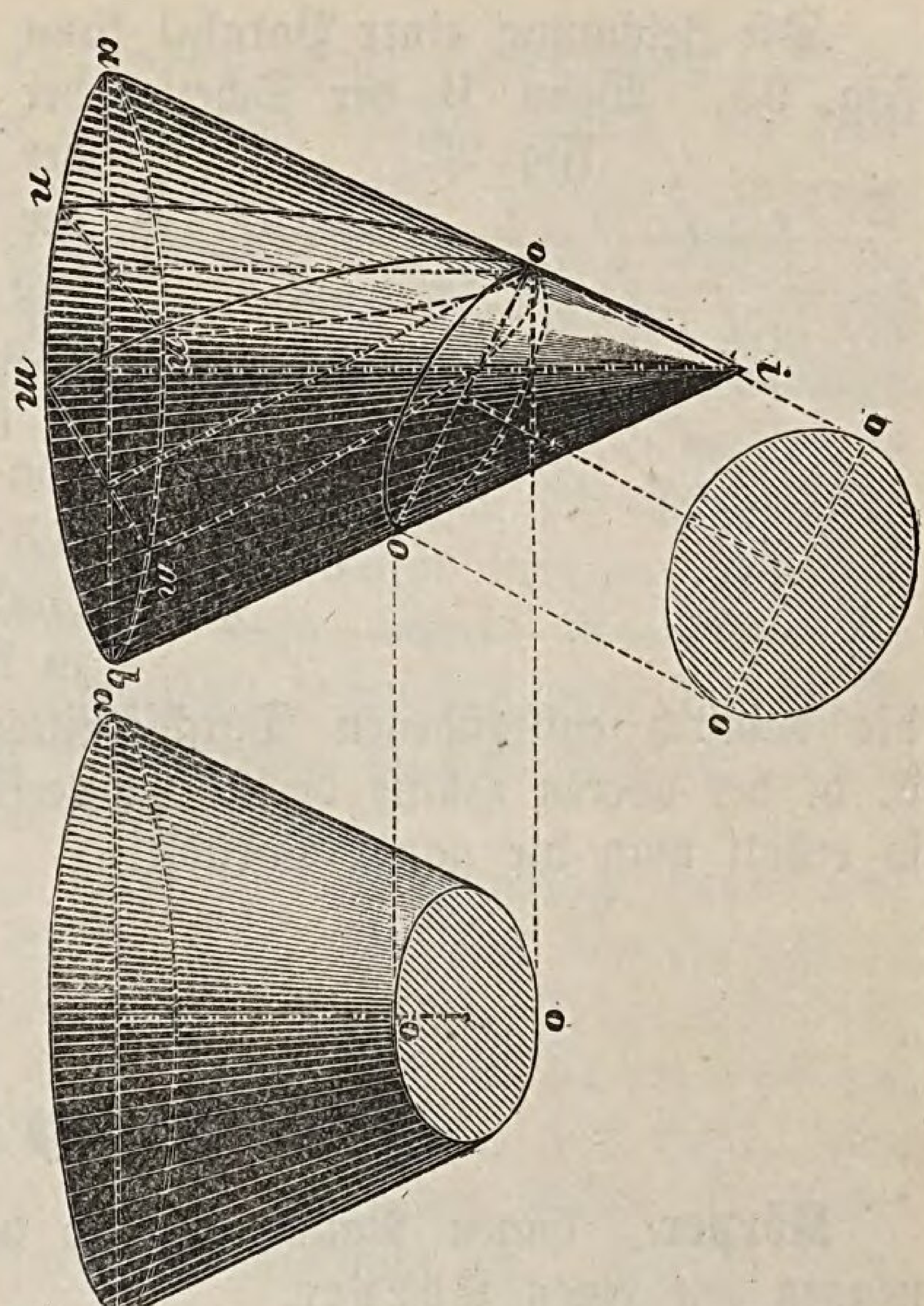


Fig. 92.

Kegelschnitte.

Ellipse, Parabel, Hyperbel. Wenn ein Kegel, Fig. 92, senkrecht zur Achse geschnitten wird, so ist die Schnittfläche ein Kreis, bei einem schiefen Schnitte nach o o entsteht, wie beim Cylinder, eine Ellipse. Wenn der Schnitt, z. B. o m m, parallel zur Seitenkante i b liegt, so ist die Schnittfläche eine Parabel, Fig. 93, dagegen eine Hyperbel, Fig. 94, wenn der Schnitt o n n parallel zur Achse genommen wird. Man nennt o o die Scheitel dieser Figuren und die Senkrechten von o auf m m oder n n die Achsen.

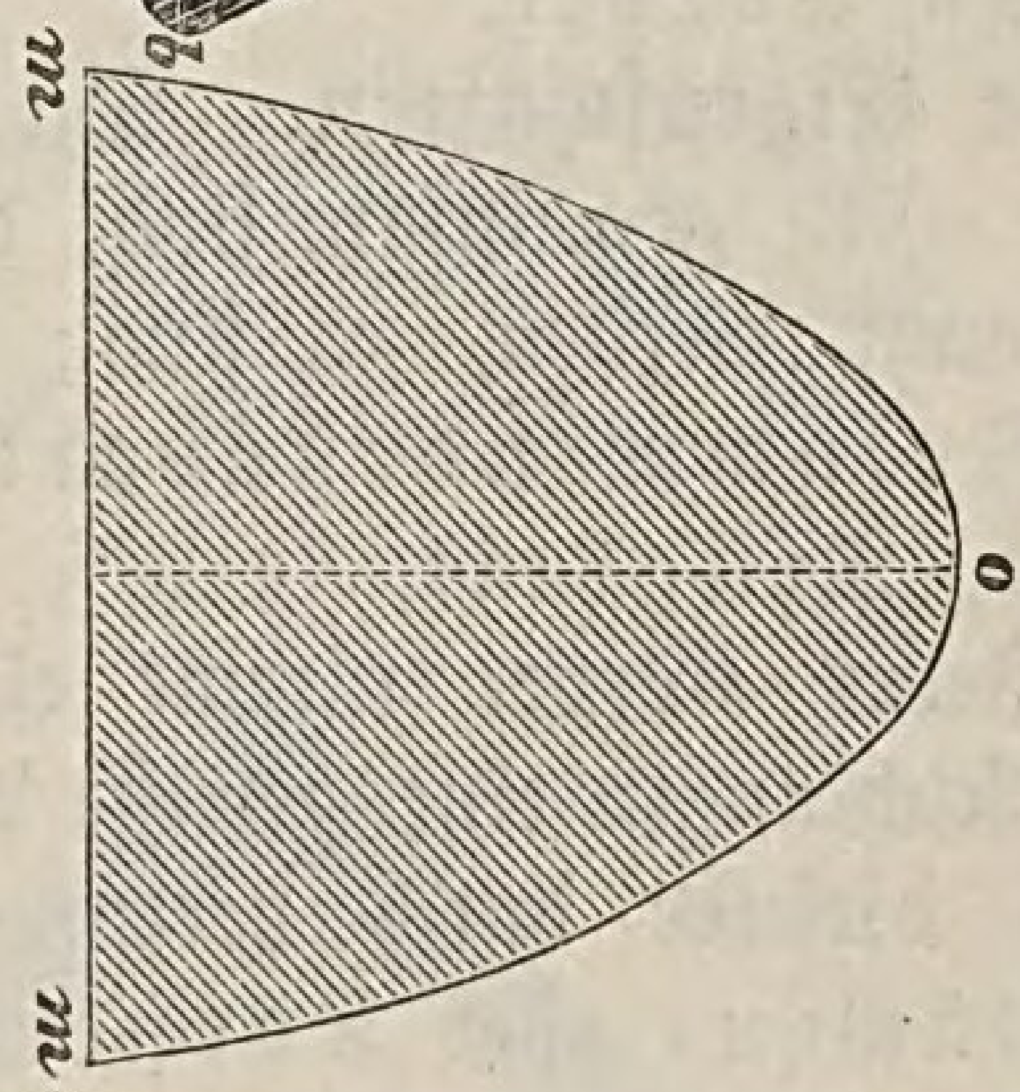


Fig. 93.

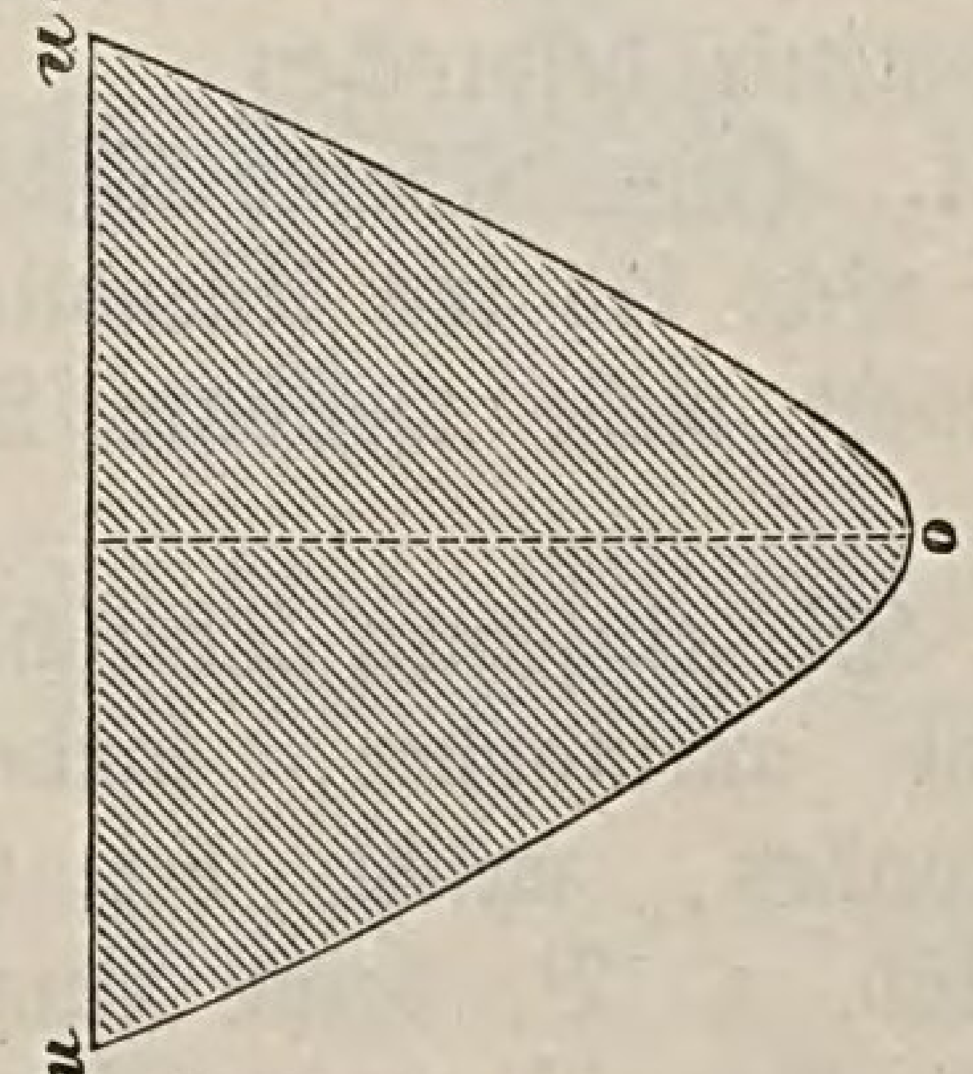
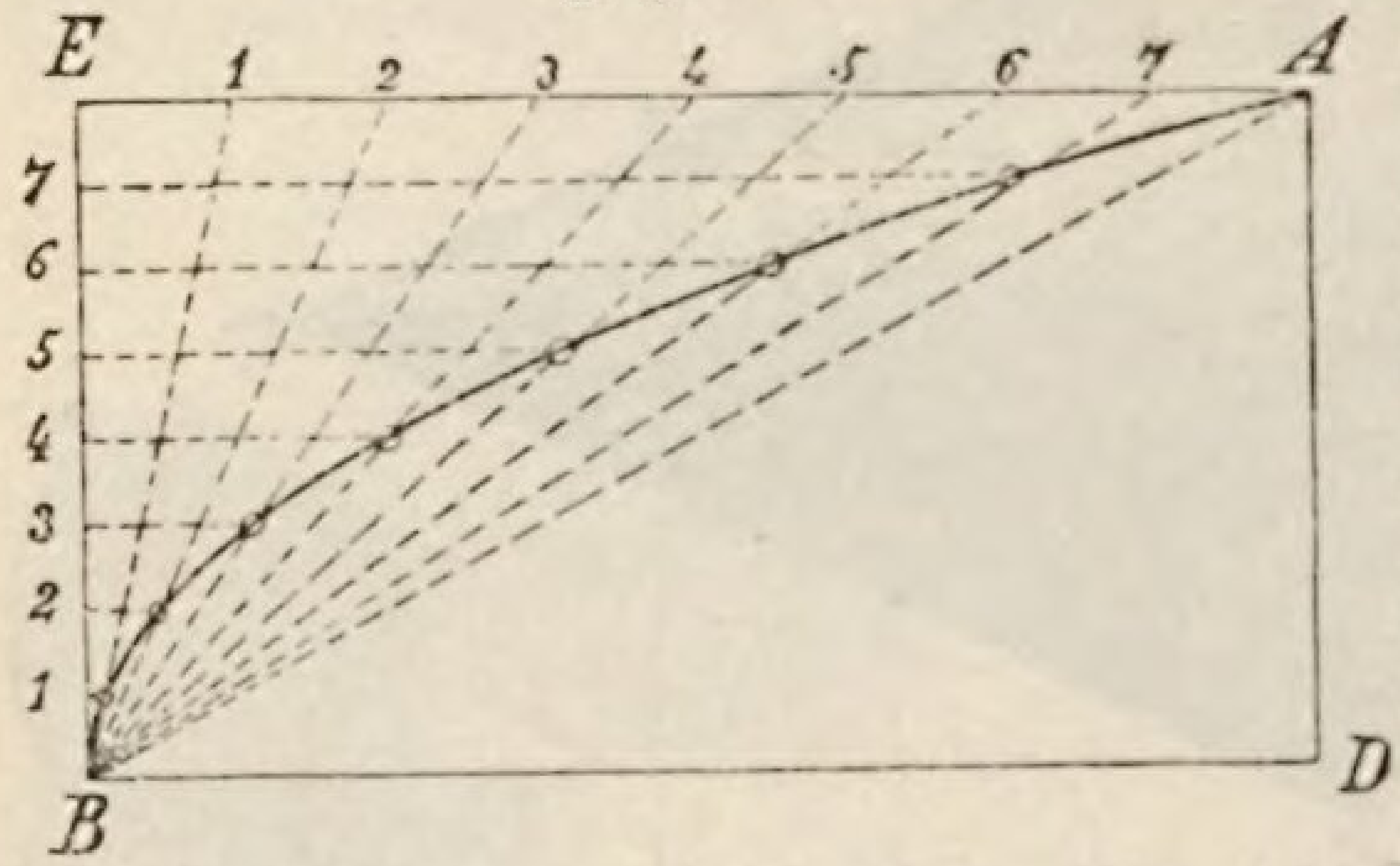


Fig. 94.

Die Zeichnung einer Parabel kann in folgender Weise geschehen, Fig. 95. Wenn B der Scheitel der Parabel, BD die Richtung der Achse und A ein Punkt in der Parabel ist, so zeichne man das Parallelogramm BDAE. Man theile nun AE und EB in gleich viele Theile und ziehe von B aus die Linien B1, B2, B3 u. s. w. und von den Theilpunkten der Linie BE Parallele zu der Achse BD, es sind dann die dadurch entstandenen Durchschnittspunkte Punkte der Parabel, d. h. der oberen Hälfte derselben; verfährt man nach unten ebenso, so erhält man die ganze Parabel.

Fig. 95.



IV. Physik.

Körper. Einen Raum, welcher von allen Seiten begrenzt ist, nennen wir einen Körper.

Allgemeine Eigenschaften. Die Körper haben gewisse Eigenschaften, welche allen gemeinsam sind, daher allgemeine Eigenschaften genannt werden, es sind: Größe, Theilbarkeit, Porösität, Zusammendrückbarkeit, Schwere, Undurchdringlichkeit, Trägheit.

Größe. Jeder Körper nimmt einen gewissen Raum ein, er hat nach allen Richtungen eine gewisse Ausdehnung oder Größe. Gemessen wird dieselbe durch vereinbarte Einheiten, die entweder Längen-, Flächen- oder Körpermaße sind. Dieselben wurden bei der Geometrie besprochen.

Theilbarkeit. Jeder Körper läßt sich zertheilen. Man nimmt an, daß dieses nicht bis ins Unendliche möglich ist, sondern man schließlich auf nicht mehr theilbare Theilchen, Atome genannt, kommt.

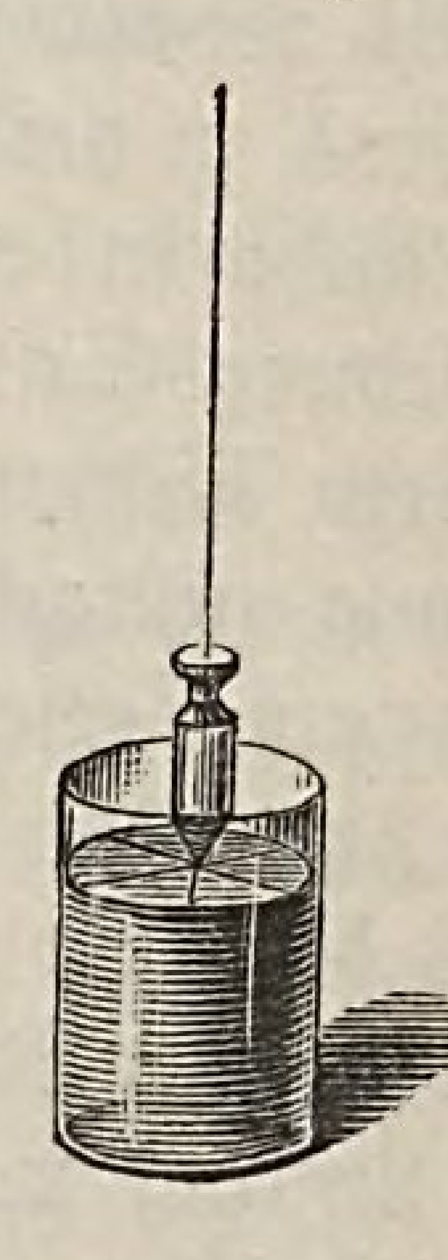
Porösität. Die einzelnen Theilchen eines Körpers liegen nicht ganz unmittelbar aneinander, sondern es sind Zwischenräume (Poren) vorhanden, welche bei vielen Körpern mit freiem Auge sichtbar sind, z. B. beim Bimsteine, bei anderen dagegen durch die schärfsten Vergrößerungsgläser nicht entdeckt werden können.

Die Poren sind aber dann auf andere Weise nachzuweisen. Wenn z. B. eine hohle Kugel von Gold mit Wasser gefüllt, die Füllöffnung dann zugelöthet und die Kugel starken Schlägen ausgesetzt wird, so bedeckt sich die Oberfläche mit einem feinen Reife; das Wasser drängt sich durch die Poren. Auch Wasser hat mit Luft gefüllte Poren, beim Anwärmen steigt die Luft in Form von Bläschen in die Höhe.

Zusammendrückbarkeit. Alle Körper lassen sich durch Druck (Pressen, Hämmern) auf einen kleineren Raum bringen, die einen leicht und viel, z. B. Schwämme, Luft, andere schwieriger und weniger, z. B. Eisen, Gold. Umgekehrt lassen sich auch alle Körper ausdehnen, insbesondere durch Erwärmung, so daß auch die Ausdehnbarkeit eine allgemeine Eigenschaft ist.

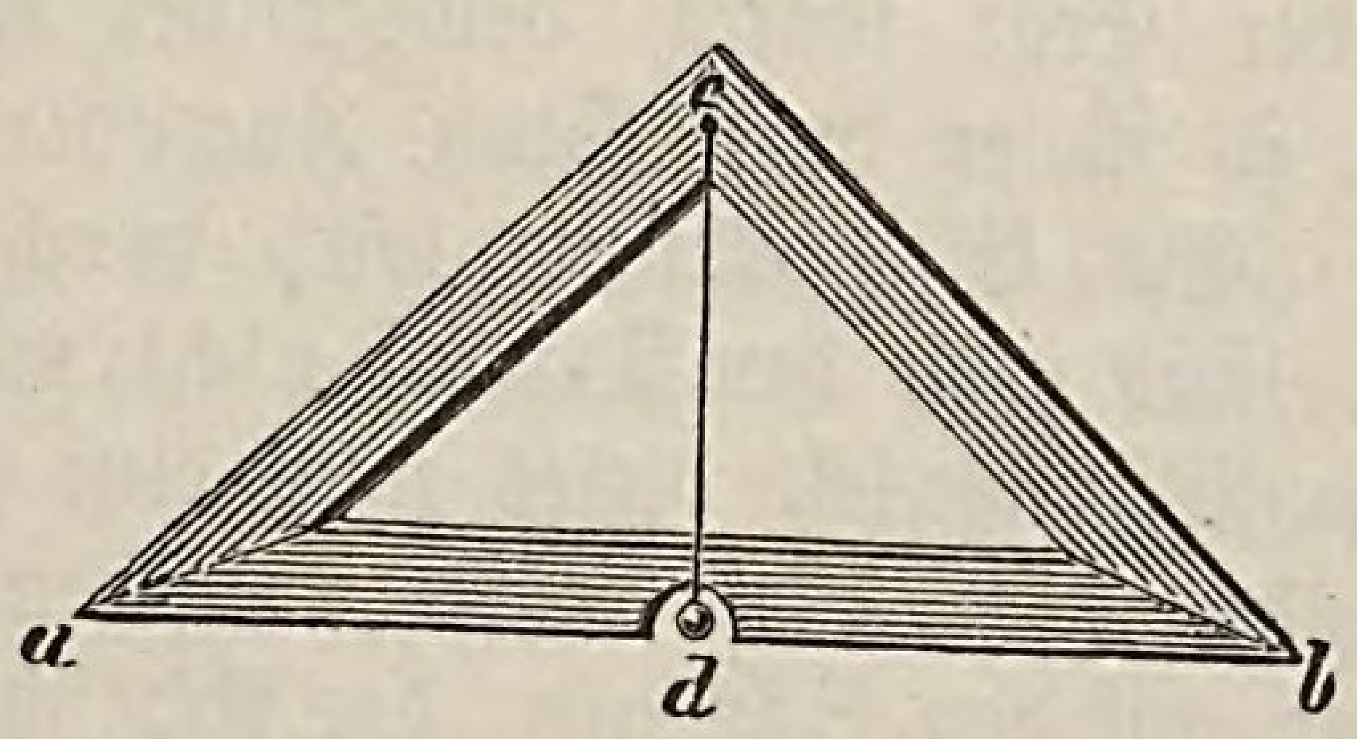
Schwere. Körper, welche nicht eine feste Unterlage haben oder aufgehängt sind, fallen zur Erde. Diese übt eine Anziehungskraft auf alle Körper aus, Schwerkraft genannt. Die Schwere eines Körpers ist sein Bestreben zur Erde zu fallen. Die Richtung des Falles geht zum Mittelpunkte der Erde, man nennt diese Richtung vertical. Ein an einem Faden hängender Körper giebt die verticale (senkrechte) Richtung an. Die zu dieser verticalen senkrechte Richtung nennt man horizontal (waagerecht). Die verticale Richtung findet man durch das Senkblei oder Loth, Fig. 96, die waagerechte Richtung durch die Setzwaage, Fig. 97. Setzt man dieses aus einem hölzernen Dreiecke und einem Senkblei bestehende Instrument mit der Grundlinie a b auf eine Fläche, so ist diese dann horizontal, wenn der Faden sich senkrecht von der Spitze zu der Grundlinie stellt. Ein ruhender Körper übt auf die Unterlage einen Druck aus, dessen Größe wir das Gewicht des Körpers nennen.

Fig. 96.



Senkblei oder Loth.

Fig. 97.



Setzwaage.

Die Einheit des Gewichtes bildet das Kilogramm. Es ist dieses das Gewicht eines Liters destillirten Wassers bei + 4° C. (Bei dieser Temperatur ist das Wasser am dichtesten.)

Das Kilogramm (kg) wird in 1000 Gramme (g) getheilt. 10 g heißen das Decagramm oder Neuloth.

Der zehnte Theil von einem Gramm heißt das Decigramm, der hundertste Theil das Centigramm, der tausendste Theil das Milligramm (mg). Ein halbes Kilogramm heißt das Pfund. 50 kg. oder 100 Pfd. heißen der Centner. 1000 kg oder 2000 Pfd. heißen die Tonne.

Nicht alle Körper nehmen bei dem gleichen Gewichte denselben Raum ein, z. B. eine 1 kg schwere Kugel von Holz ist größer als eine 1 kg schwere Eisenkugel und diese wiederum größer als eine 1 kg wiegende Kugel von Blei. Auch derselbe Stoff kann bei gleichem Gewichte einen größeren oder kleineren Raum einnehmen, man kann nämlich alle Stoffe mehr oder weniger zusammenpressen und auch ausdehnen. Je größer die Menge eines Stoffes bei demselben Raume oder je kleiner der Raum bei demselben Gewichte ist, um so größer ist die Dichtigkeit desselben. Je dichter ein Körper um so kleiner sind die Poren.

Undurchdringlichkeit. Die Körper sind undurchdringlich heißt: wo ein Körper ist, kann nicht gleichzeitig ein anderer sein.

Trägheit oder Beharrungsvermögen. Ohne äußere Veranlassung verläßt kein Körper den Zustand, in welchem er sich befindet; ein ruhender Körper bewegt sich nicht von selbst und ein in Bewegung befindlicher Körper kommt auch nicht von selbst zur Ruhe, es muß in beiden Fällen irgend eine außerhalb des Körpers sich befindende Kraft thätig sein, um den ruhenden Körper in Bewegung oder den in Bewegung befindlichen zur Ruhe zu bringen. (Kraft nennen wir Alles das, was den augenblicklichen Zustand eines Körpers zu verändern strebt.) Wenn ein Körper von dem Zustande der Ruhe in eine verticale Bewegung nach unten kommt, so ist die Anziehungskraft der Erde thätig, bewegt der Körper sich in einer anderen Richtung, so ist er durch Stoß, Zug oder dergl. in diese Bewegung gebracht. Ein Eisenbahnzug wird durch die Dampfkraft in Bewegung gesetzt, läßt man den Dampf nicht mehr wirken, so läuft der Zug ohne die Wirksamkeit dieses noch eine Strecke weit, kommt aber bald zur Ruhe, weil ihm Kräfte entgegenwirken, nämlich die Reibung der Räder auf den Schienen, der Achsschenkel in den Lagern, der Luftzug ꝛc. Je geringer diese Reibungen — also die hemmenden Kräfte — um eine so längere Strecke läuft der Zug ohne Dampf weiter. Die Eigenschaft, das Bestreben der Körper, in dem Zustande zu beharren, in welchem sie sind, nennt man die Trägheit oder das Beharrungsvermögen.

Der Bewegung der Himmelskörper stehen keine Hindernisse, wie Reibung ꝛc., entgegen, diese bewegen sich deshalb immerfort in der einmal innehabenden Bahn.

Drei andere Eigenschaften, nämlich Cohäsion, Adhäsion und Capillarität, sind den Körpern in verschiedenem Grade eigenthümlich.

Cohäsion. Wenn man einen Körper zertheilen will, so gehört dazu mehr oder weniger Anstrengung, weil die Theile des Körpers eine größere oder geringere Anziehung auf einander ausüben, welche man *Cohäsion* nennt (Zusammenhangskraft). Dieselbe ist bei den einzelnen Körpern verschieden groß. *Feste* Körper, wie Eisen, Stahl, Gold, Granit ꝛc., lassen sich nur schwer und unter Zuhülfenahme besonderer Instrumente trennen, wogegen bei weniger festen, z. B. bei Holz, Wachs ꝛc., die Trennung leichter ist. Bei *flüssigen* Körpern (Wasser, Quecksilber, Oel) ist die Cohäsion sehr gering und bei *gasförmigen* Körpern (Luft, Leuchtgas) ist gar keine Cohäsion vorhanden. Die drei Zustände, in welchen ein Körper sein kann, fest, flüssig, gasförmig, nennt man *Aggregatzustände*.

Adhäsion. Während die Cohäsion die Zusammenhangskraft, Anziehungskraft der einzelnen Theile ein und desselben Körpers ist, bezeichnet man die Anziehungskraft zweier verschiedener Körper mit *Adhäsion*. Je inniger die Berührung ist, um so größer ist die Adhäsion, z. B. zwei gut aufeinander geschliffene Platten können sehr fest aneinander haften; guter Leim adhärirt, nachdem er trocken geworden, oft so fest an geleimten Hölzern, daß bei Anwendung von Gewalt die Trennung nicht in der geleimten Fuge, sondern daneben erfolgt, so daß also in diesem Falle die Adhäsion zwischen Leim und Holz größer ist als die Cohäsion des Holzes. Auch das Löthen beruht auf Adhäsion, ebenso das Schreiben mit Kreide, Blei, Holzkohle, Dinte u. s. w.

Capillarität. Wenn man die Hand in Wasser, Oel ꝛc. taucht, so wird sie *benetzt*, d. h., es bleiben Theile von dieser Flüssigkeit an der Hand haften, es ist also deren Cohäsion geringer als ihre Adhäsion an der Hand. Beim Eintauchen der Hand in Quecksilber bleiben keine Theile haften, es ist also bei diesem die Kraft der Cohäsion größer.

Das Ueberwiegen der Cohäsion oder der Adhäsion hat bei flüssigen Körpern einige Eigenthümlichkeiten im Gefolge, z. B. steht Wasser in einem Glase am Rande höher als in der Mitte, weil die Adhäsion an dem Glase seine Cohäsion überwiegt. Die Oberfläche des Wassers im Glase ist concav. Umgekehrt ist es beim Quecksilber, dessen Oberfläche convex ist, weil hier die Cohäsion größer als die Adhäsion am Glase ist.

Wenn ein enges Glasröhrchen (*Haarröhrchen*) in ein Gefäß mit Wasser gehalten wird, Fig. 98, so überwiegt die Adhäsion des Wassers in dem engen Röhrchen die Cohäsion des Wassers so sehr,

Fig. 98.

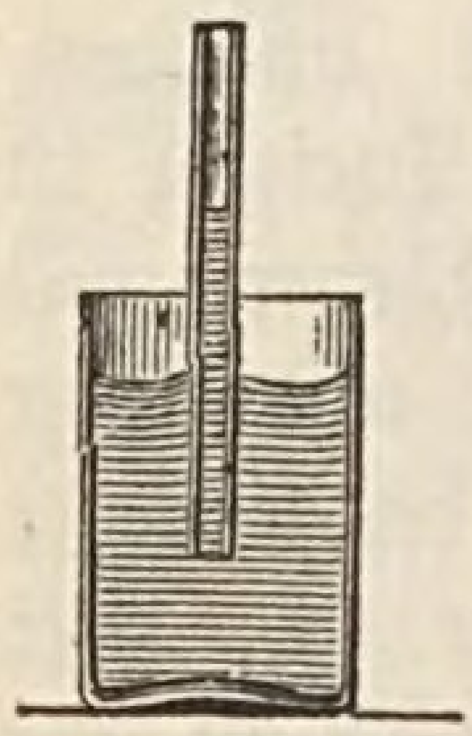
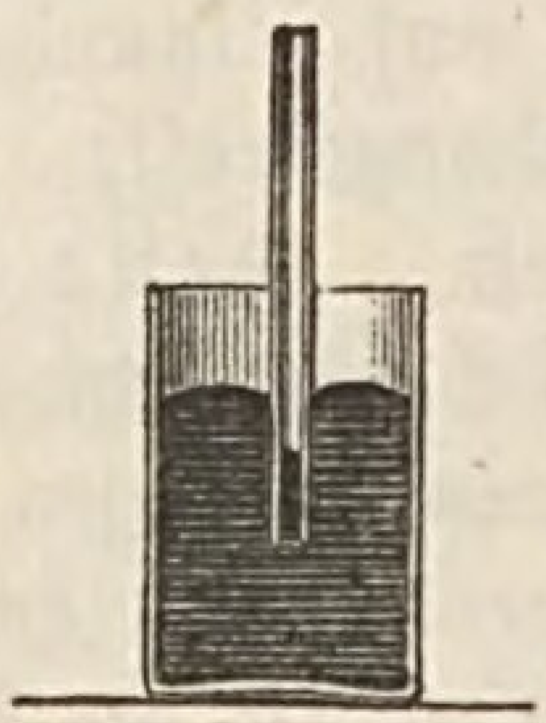


Fig. 99.



daß das Wasser im Röhrchen höher als im Glase steht, es wird nämlich von der Wand des Röhrchens hinaufgezogen. Beim Quecksilber ist es umgekehrt, Fig. 99, dieses steht im Röhrchen tiefer, weil es von dem Quecksilber (durch die Cohäsion) mehr angezogen wird als durch die Wand des Röhrchens (durch die Adhäsion). Man nennt diese Eigenschaft *Haarröhrchenanziehung* oder *Capillarität*.

Die Saugfähigkeit vieler Körper, wie Lampendochte, Baumwollenfäden, Löschpapier 2c., also ihre Eigenschaft, Flüssigkeiten in die Höhe zu ziehen, beruht auf der *Haarröhrchenanziehung*, indem diese Körper im Innern feine Gänge haben, in welchen gewisse Flüssigkeiten (nicht alle) leicht in die Höhe steigen.

Feste Körper. Wir sprachen bereits von der verschieden großen Cohäsion der festen Körper; man unterscheidet nach ihr *harte* und *weiche* Körper, je nachdem die Theile sich schwer oder leicht verschieben lassen.

Wenn bei einem Körper die Form sich bedeutend verändern läßt, ohne daß eine Trennung der Theile eintritt, z. B. bei Blei, Eisen, Kupfer u. a., so nennt man ihn *biegsam* oder *dehnbar*; wenn er dagegen bei dem Versuche einer Formveränderung leicht in einzelne Theile sich trennt (zerbricht), so ist er *spröde*, z. B. Glas, Porzellan u. a.

Derselbe Körper kann unter anderen Umständen hart oder weich, biegsam oder spröde sein, z. B. giebt es sehr spröden und sehr biegsamen Stahl; Glas, im Allgemeinen spröde, kann zu äußerst biegsamen Fäden verarbeitet werden. Körper, welche nach einer gewaltsamen Formveränderung die ursprüngliche Form wieder anzunehmen suchen, nennt man *elastisch*, z. B. ein platt gedrückter Gummiball wird wieder rund, eine krumm gebogene Stahlklinge wird wieder gerade, wenn der Druck aufhört; Körper dagegen, welche die ihnen gegebene Form beibehalten, sind *unelastisch*.

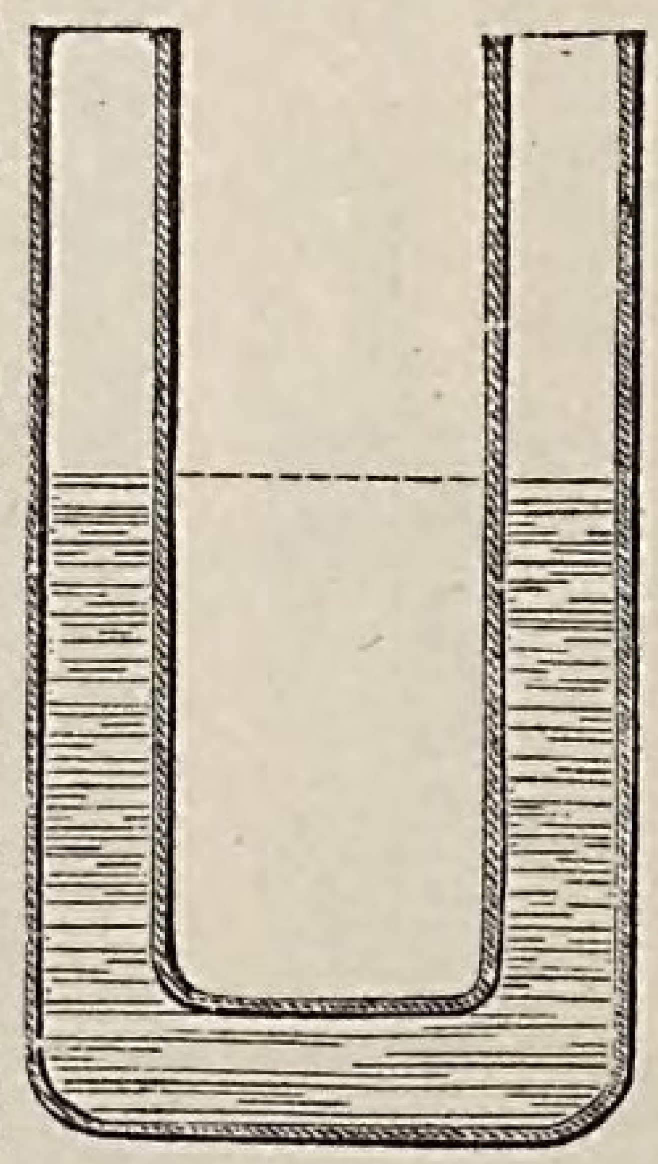
Die Elasticität macht man sich vielfach zu Nutzen, z. B. bei den Federwaagen, bei den Stoß- und Zugvorrichtungen, sowie den Tragfedern der Fahrzeuge 2c.

Flüssige Körper. Diese haben eine geringe Cohäsion, ihre Theilchen eine leichte Verschiebbarkeit. Sie sind fast gar nicht zusammendrückbar, für die Praxis kann man sie als unzusammendrückbar bezeichnen.

200 Thl. Wasser lassen sich bei dem ungeheuren Drucke von 100 Atm. auf nur 199 Thl. zusammendrücken.

Zwei durch eine Röhre mit einander verbundene Gefäße heißen communicirende Gefäße, wird eine Flüssigkeit hineingegeben, so stehen in beiden die Oberflächen der Flüssigkeiten gleich hoch, Fig. 100.

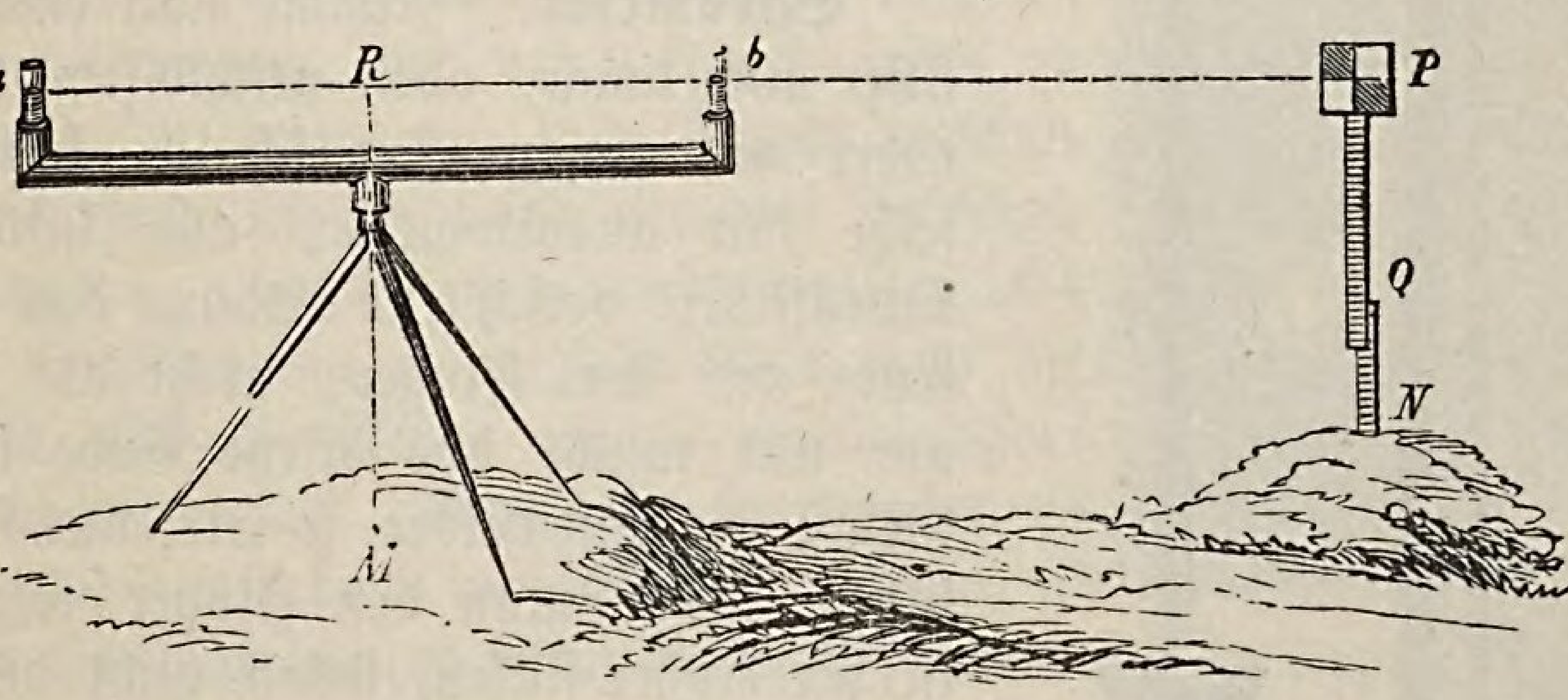
Fig 100.



Communicirende Gefäße.

Man macht sich dieses bei den Wasserstandsgläsern der Dampfkessel zu Nutze. Ebenso beim Nivelliren mit der Kanalwaage, Fig. 101. Bei dieser sind zwei Glascylinder durch eine Blechröhre verbunden, bilden also zusammen communicirende Gefäße. Wird Wasser hineingegossen, so steht es in beiden Cylindern gleich hoch, die Oberflächen liegen in einer Horizontalen. Um zu untersuchen, wie hoch der Punkt N über M liegt, stellt man die Kanalwaage über M und schlägt bei N einen Pflock ein, an den man die Nivellirlatte P Q legt. Diese wird so lange verschoben, bis die Linie a b genau auf die Mitte der Scheibe trifft; es liegt dann der Punkt N um R M — P N über M.

Fig. 101.



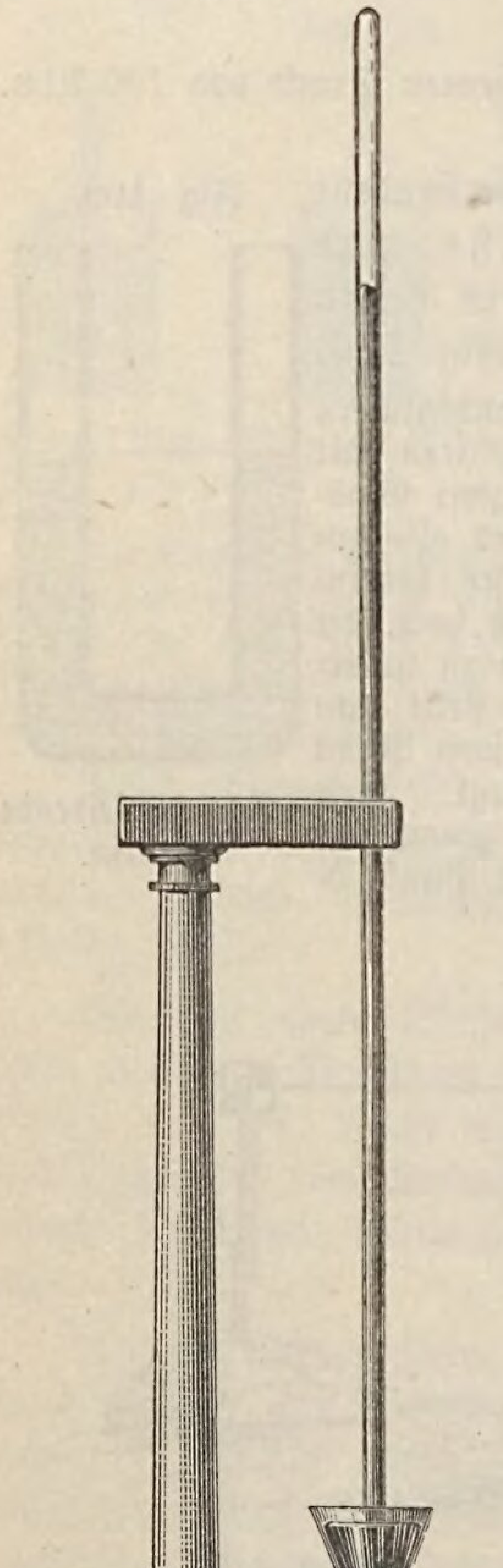
Kanalwaage. Nivellirlatte

Gasförmige Körper. Im Gegensatze zu flüssigen Körpern sind gasförmige ungemein zusammendrückbar und nach Aufhören des Druckes nehmen sie sofort das unsprüngliche Volumen wieder an, sie sind also vollkommen elastisch.

Wenn gasförmige Körper einem sehr starken Drucke und gleichzeitig einer großen Kälte unterworfen werden, so wird die größte

Anzahl derselben flüssig; diejenigen, welche noch nicht flüssig gemacht werden konnten — was aber wahrscheinlich noch gelingen wird — u. a. Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, atmosphärische Luft (ein Gemisch von Sauerstoff und Stickstoff), nennt man permanente Gase.*)

Fig. 102.



Atmosphärische Luft. Die Luft umgiebt die Erde überall bis zu einer Höhe von etwa 5 Meilen = 5 × 7500 × 100 = 3750000 Centimeter. Es ruht also in der Nähe der Erde auf 1 qcm eine Luftsäule von 3750000 cm Höhe, deren Dichtigkeit von unten nach oben immer mehr abnimmt. In jeder Höhe hat 1 ccm ein anderes Gewicht, unmittelbar an der Erdoberfläche ist die Luft am schwersten. Wie viel wiegt die ganze fünf Meilen hohe Luftsäule, also 3750000 ccm oder, was dasselbe sagt, welchen Druck hat eine Fläche von 1 qcm an der Erdoberfläche auszuhalten?

Barometer. Nimmt man eine etwa 820 mm lange, oben geschlossene Glasröhre von 1 qcm Querschnitt, füllt dieselbe mit ausgekochtem, also luftleerem Quecksilber, verschließt alsdann das offene Ende mit dem Finger, dreht die Röhre um und taucht das offene Ende in ein Gefäß mit Quecksilber, so wird das Quecksilber, wenn man den Finger wegzieht, in der Röhre sinken, jedoch nicht bis zum Niveau des Quecksilbers in dem Gefäße, sondern es bleibt etwa 76 cm hoch stehen, Fig. 102. In der Glasröhre sind 76 ccm Quecksilber, welche eine feste Unterlage nicht haben und doch nicht niedersinken, sie müssen also von irgend einer Kraft hoch gehalten werden, welche

*) Anmerkung. Auch die Flüssigmachung dieser Gase ist in den letzten Jahren gelungen.

ebenso groß ist, wie das Gewicht der 76 cm hohen Quecksilbersäule von 76 ccm Inhalt. Das Gegengewicht zu dieser Quecksilbersäule ist die auf das Quecksilber des offenen Gefäßes drückende 5 Meilen hohe Luftsäule. 1 ccm Quecksilber wiegt 13,596 g, also der ganze Inhalt der Glasröhre 76 × 13,596 g = 1033 g = 1,033 kg; genau soviel wiegt nun auch die fünf Meilen hohe Luftsäule von 1 qcm Querschnitt und genau so groß ist der Luftdruck, also:

1,033 kg auf 1 qcm = 1 Atm.

Man nennt diesen Druck den natürlichen Atmosphärendruck oder kurzweg eine Atmosphäre, für welche man in der Praxis abgerundet 1 kg pro 1 qcm rechnet. Ein Luftdruckmesser heißt Barometer, welches in der Praxis die Form wie Fig. 103, Gefäßbarometer, oder wie Fig. 104, Heberbarometer, hat.

Fig. 103.

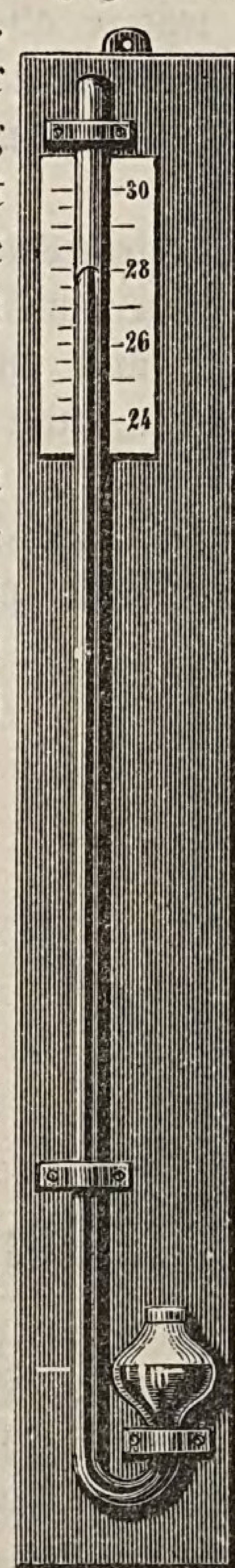
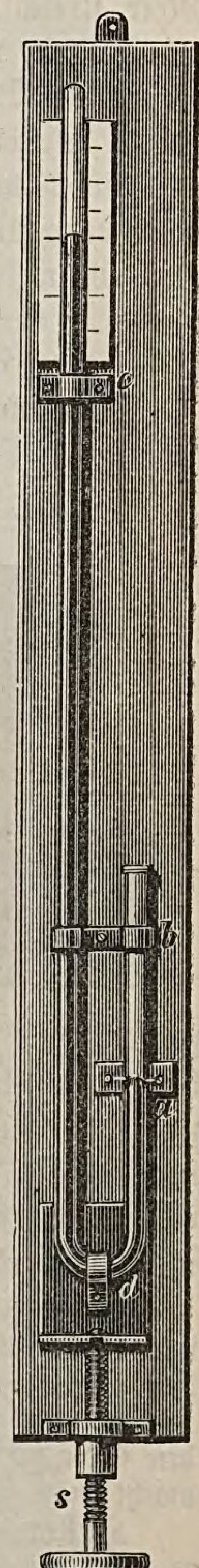


Fig. 104.



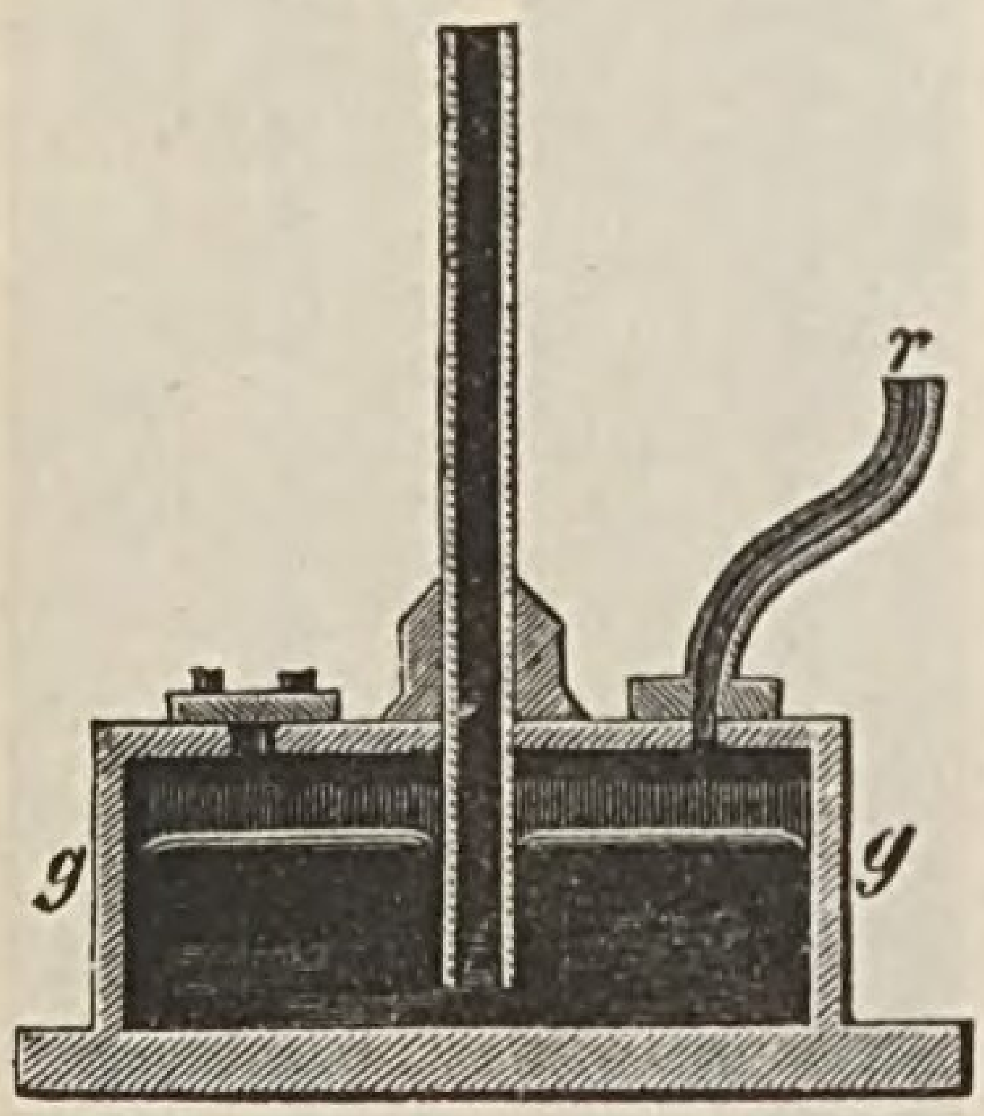
Wenn das Quecksilber in dem längeren Schenkel steigt, so fällt das Niveau in dem Gefäße oder dem kürzeren Schenkel oder umgekehrt; um das Nieveau in dem kürzeren Schenkel immer auf den 0 Punkt setzen zu können — denn nur die Quecksilbersänle über diesem Niveau wird von der Luftsäule getragen — hat das Barometer in Fig. 104 eine Stellschraube s, mittelst derer man die Skala und die Röhre etwas gegeneinander verschieben kann. Bei dem Barometer in Fig. 103 mit dem birnförmigen Gefäße ist diese Stellvorrichtung nicht so nöthig, weil das Niveau in diesem Gefäße sich nur wenig ändert, wenn die Säule steigt oder fällt. Die Thatsache, daß die Quecksilbersäule des Barometers bald höher bald niedriger ist, beweist, daß auch an demselben Orte die Luft nicht immer gleich schwer ist, was erklärlich, denn durch Wärme ausgedehnte Luft ist leichter als die durch Verminderung der Wärme verdichtete. Da nun die von Ost und Nord nach unserer Gegend kommende Luft kälter (also auch dichter

und schwerer) als die von West und Süd ist, so steht das Barometer bei jener im Allgemeinen höher; da weiter die Luft von Ost und Nord über Festland, dagegen die von Süd und West über das Meer streicht, letztere also Wasserdampf mit sich führt, der bei uns als Regen niederschlägt (allerdings nicht immer), so schließen wir bei hohem Barometerstande auf trockenes, bei niedrigem Stande auf nasses Wetter.

Auf höher gelegenen Punkten — also auf Bergen — steht das Barometer niedriger, weil die tragende Luftsäule niedriger, also leichter ist. Man kann nun aus der Höhe des Barometerstandes die Höhe der Berge berechnen, man nennt dieses Verfahren die barometrische Höhenmessung.

Manometer. In Fig. 105 bedeutet g ein Gefäß, das theilweis mit Quecksilber gefüllt ist. In das Gefäß ist eine lange Glasröhre luftdicht eingepaßt. Leitet man durch ein Rohr r den Dampf in das Gefäß, so drückt dieser das Quecksilber in der Glasröhre hinauf; geschieht dieses bis auf 76 cm, so hat der Dampf eine Spannung von 2 Atm., denn er überwindet außer 76 cm Quecksilberdruck auch noch den Atmosphärendruck, der auf demselben lastet. Hebt der Dampf das Quecksilber 2 . 76 cm, so hat er eine Spannung von $2 + 1 = 3$ Atm. u. s. f. Man nennt einen solchen Apparat zum Messen von Dampfspannungen ein offenes Quecksilbermanometer. Es wird bei Dampfkesseln, in Locomotiv-Reparaturwerkstätten 2c. gebraucht, um die Richtigkeit der Sicherheitsventile und Federmanometer zu untersuchen. Ein offenes Quecksilbermanometer ist der einzige immer richtig zeichende untrügliche Apparat zum Messen von Dampf-, Luft- und Wasserdruck, Fig. 106.

Fig. 105.

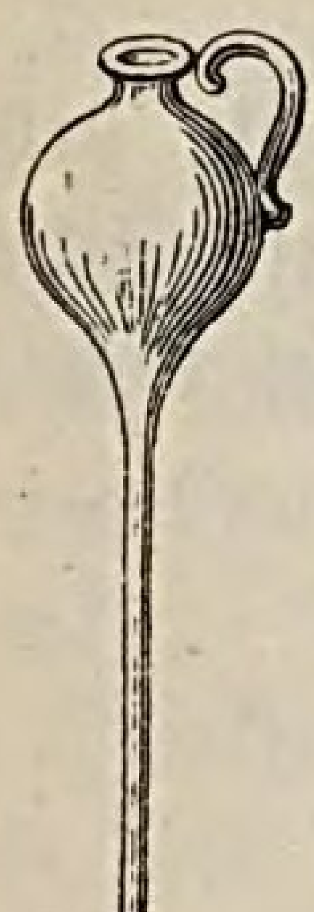


Saugpumpen. Wenn eine andere leichtere Flüssigkeit an Stelle von Quecksilber im Barometer verwendet wird, so ist die von dem Luftdrucke getragene Säule höher, z. B. bei Wasser 13,5 mal höher, 76 cm $\times$ 13,5 = 10,26 m, weil Wasser 13,5 mal leichter als Quecksilber ist. Bei den Saugpumpen, auf die wir bei der Mechanik zu sprechen kommen, macht man sich diesen Umstand zu Nutze.

Heber. Fig. 107 zeigt einen Stechheber. Taucht man ihn in eine Flüssigkeit, so füllt er sich mit dieser. Schließt man dann die obere Oeffnung mit dem Finger und zieht den Heber

heraus, so fließen unten nur einige Tropfen ab. Der Heber bleibt gefüllt, so lange die obere Oeffnung geschlossen gehalten wird, weil über der Flüssigkeit eine Luftverdünnung eintritt und deshalb der überwiegende Druck der äußeren Atmosphäre die Flüssigkeit nicht ausfließen läßt. Dasselbe wird erreicht, wenn man nur die Spitze in die Flüssigkeit taucht, z. B. durch das Spundloch eines Fasses, und nun oben mit dem Munde die Luft aussaugt. Wenn man den Finger wegnimmt, fließt die Flüssigkeit aus der Spitze aus. Einen solchen Stechheber benutzt man, um einem Gefäße kleinere Mengen einer Flüssigkeit, etwa zur Probe, zu entnehmen.

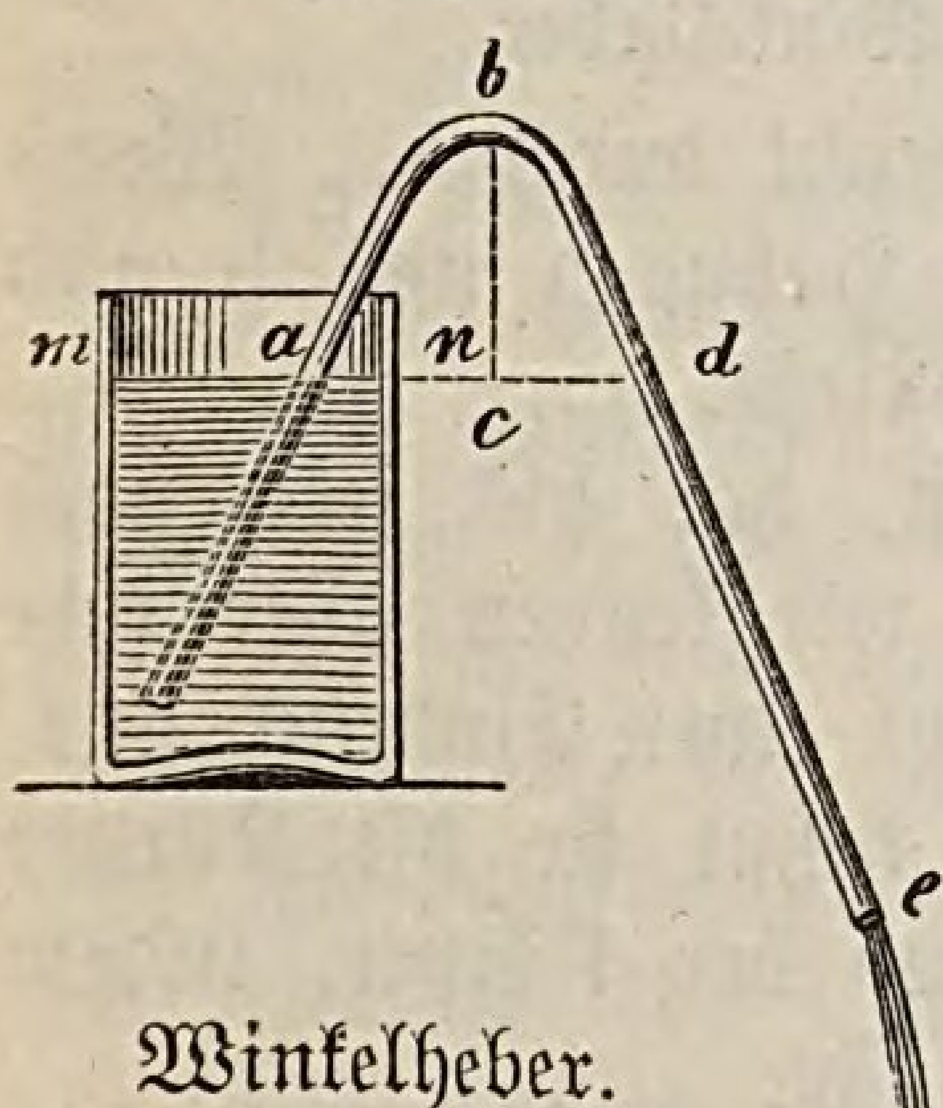
Fig. 107.



Stechheber.

Soll ein Gefäß m ganz oder zum Theil entleert werden, so bedient man sich des W i n k e l h e b e r s, Fig. 108. Er besteht aus einem kürzeren Schenkel a und einem längeren d. Wenn er wirken soll, so muß e tiefer liegen als das Ende von dem kurzen Schenkel a. Wird bei e angesaugt und der Mund weggenommen, so muß die Flüssigkeit bei e ausfließen. Auf beide Oeffnungen der Röhre wirkt derselbe Atmosphärendruck, da aber der Schenkel d länger als a, in demselben also mehr Flüssigkeit ist, so fängt der Ueberschuß an auszufließen; dadurch entsteht aber in dem Heber bei b eine Luftleere, die sich sofort von dem Gefäß aus wieder mit Flüssigkeit füllt und hört

Fig. 108.



Winkelheber.

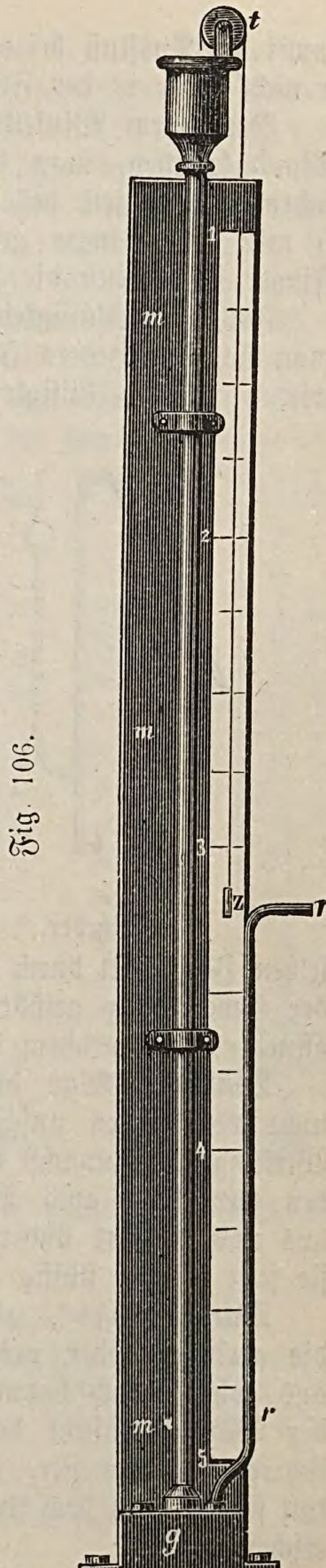


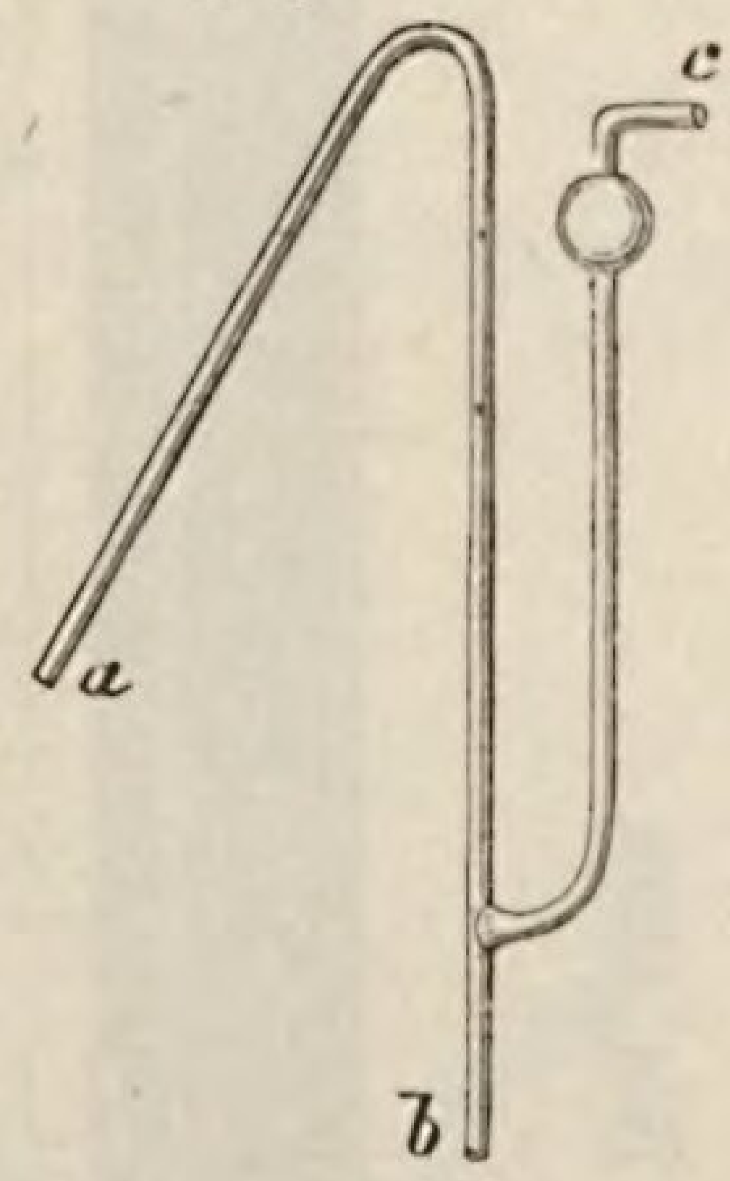
Fig. 106.

somit der Ausfluß bei e erst auf, wenn die Oeffnung des Schenkels a nicht mehr in der Flüssigkeit ist.

Bei einem Winkelheber kann beim Ansaugen Flüssigkeit in den Mund kommen, man bedient sich deshalb bei giftigen oder widerlichen Substanzen des Giftheber s, Fig. 109 Nachdem man b mit dem Finger geschlossen, saugt man bei c und nimmt den Finger fort, wenn die Flüssigkeit bis b angesaugt ist.

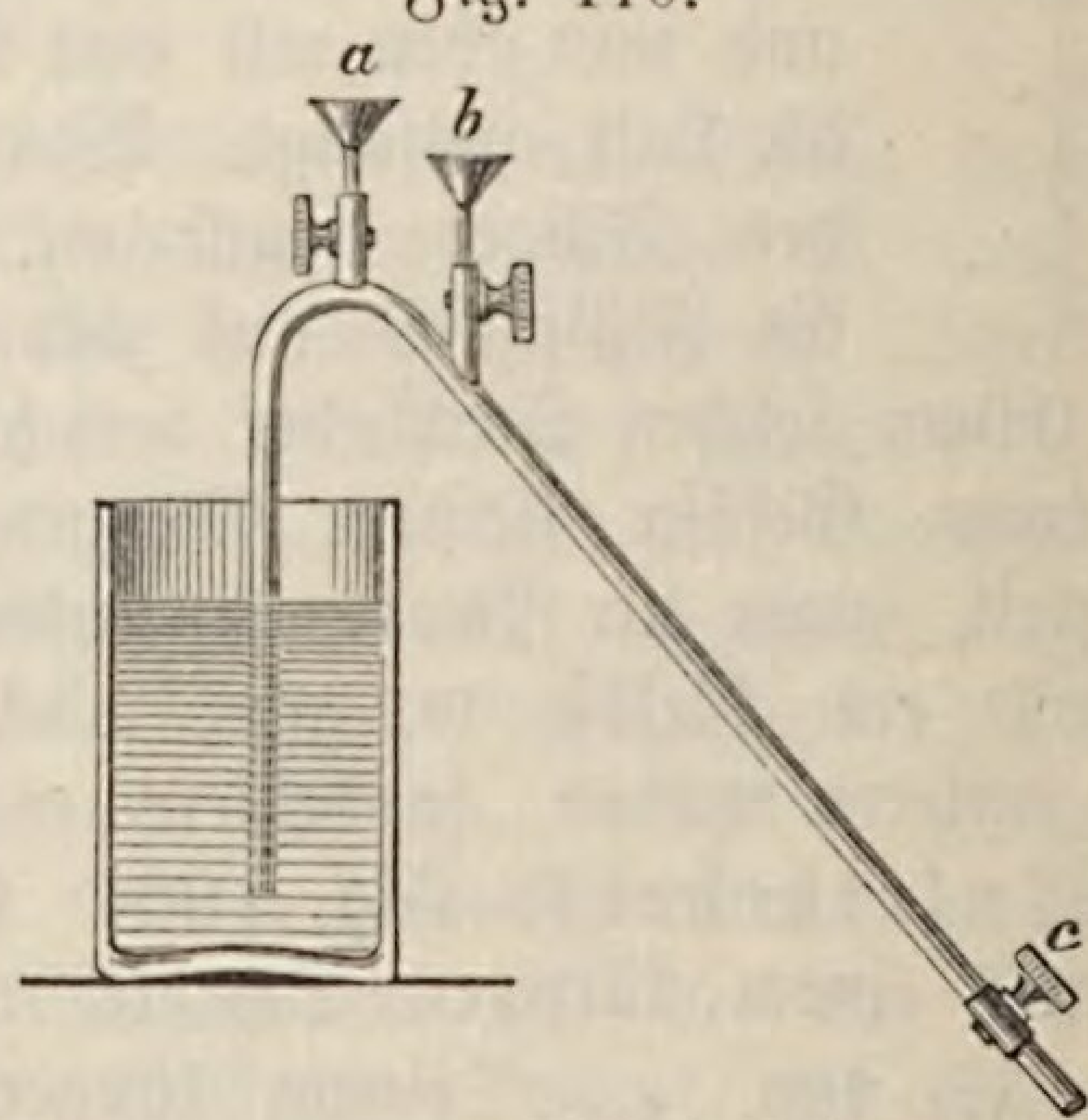
Falls die Flüssigkeit auch für den Finger schädlich ist, bedient man sich des Hebers Fig. 110. Man stellt den kürzeren Schenkel wieder in die Flüssigkeit, schließt den Hahn c und gießt von der-

Fig. 109.



Giftheber.

Fig. 110.



Winkelheber.

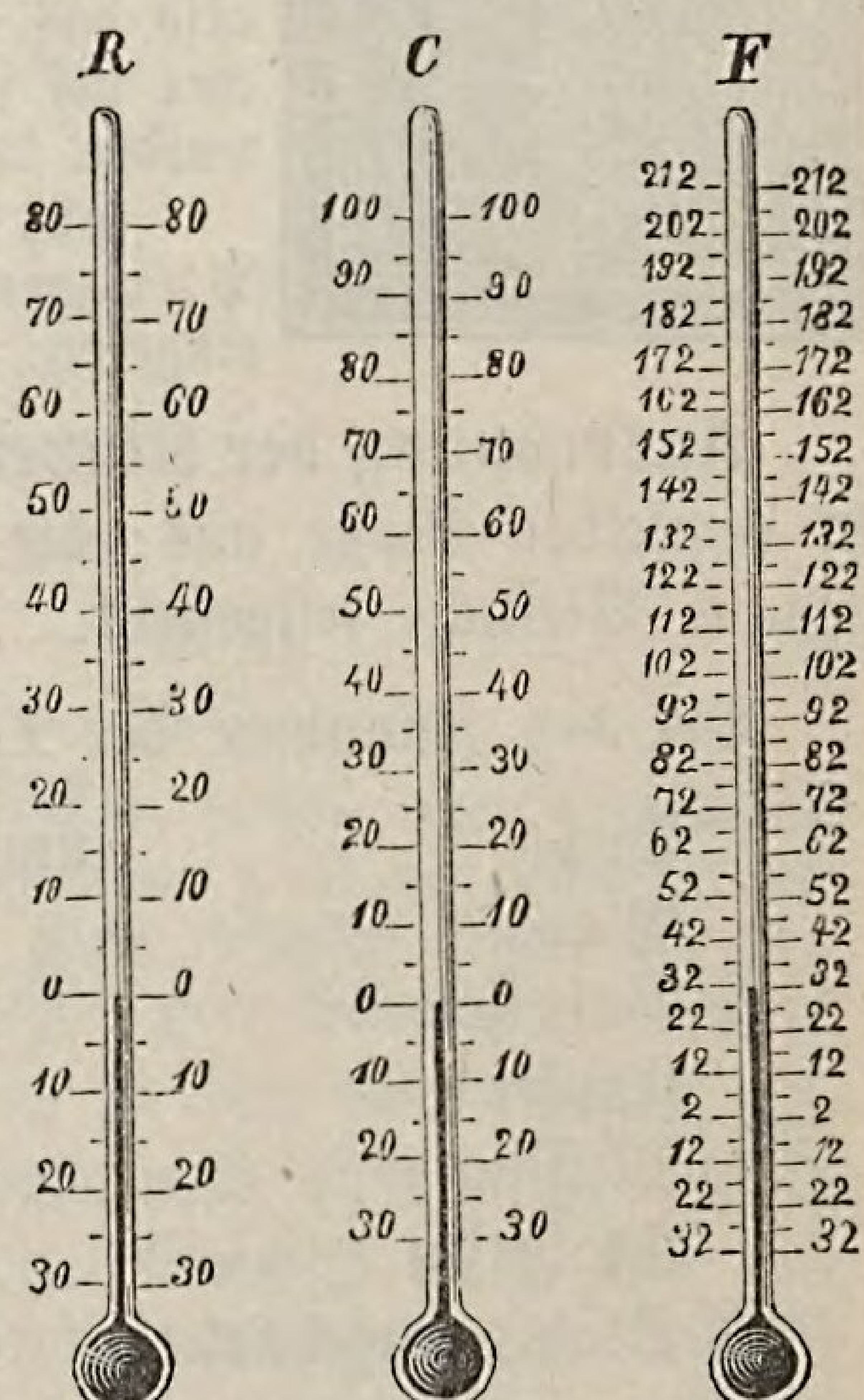
selben Flüssigkeit durch b ein. Die Luft entweicht durch a. Wenn der Heber ganz gefüllt ist, schließt man die Hähne a und b und öffnet c, aus welchem dann die Flüssigkeit abfließt.

Wärme. Was die Wärme eigentlich ist, hat bis jetzt noch nicht vollkommen aufgeklärt werden können, wir kennen aber ihre Wirkungen. Zunächst übt sie auf unser Gefühl einen Eindruck aus, den wir selbst auch Wärme nennen, ferner dehnt sie die Körper aus und drittens ändert sie den Aggregatzustand der Körper, indem sie feste Körper flüssig und diese gasförmig macht.

Durch „kalt", „kühl", „warm" und „heiß" drücken wir die geringere oder größere Wirkung der Wärme auf unser Gefühl aus, ohne jedoch dadurch eine ganz bestimmt begrenzte Reihenfolge der Wärmeintensität bezeichnen zu können; das Gefühl ist ein unsicherer Wärmemesser, was schon daraus hervorgeht, daß der Eine kalt findet, was dem Andern nur kühl und dem Dritten sogar warm erscheint.

Thermometer. Die Eigenschaft der Wärme, die Körper auszudehnen, benutzt man zur Herstellung von feinfühlenden Wärmemessern, Thermometer genannt, von welchen das bekannteste das Quecksilberthermometer ist. Ein solches besteht aus einer geschlossenen und luftleeren, überall gleich weiten Glasröhre mit angeblasener Kugel, welche zum Theil mit Quecksilber gefüllt ist. Taucht man diese Röhre in schmelzendes Eis, so steht nach einiger Zeit das Quecksilber unveränderlich auf demselben Punkte, dem Gefrierpunkte, welchen man mit 0 bezeichnet. Hält man alsdann dieselbe Röhre in den Dampf von in einem offenen Gefäße siedenden reinem Wasser, so erhält man einen zweiten festen Punkt, den Siedepunkt. Der Abstand von diesen beiden Punkten, Gefrier- und Siedepunkt, heißt der Fundamentalabstand. Dieser wird in gleiche Theile (Grade) getheilt und zwar in 80 bei dem Thermometer von Réaumur, Fig. 111, und in 100 bei dem von Celsius, Fig. 112. Von diesen Graden werden auch unter 0 aufgetragen. Die Grade über 0 nennt man Wärmegrade und bezeichnet sie mit + (plus), die unter 0 heißen Kältegrade und werden mit „—" (minus) bezeichnet. Bei den Wärmegraden läßt man das + Zeichen gewöhnlich fort. Eine abweichende Eintheilung hat das Thermometer von Fahrenheit, Fig. 113. Bei diesem steht an dem 0 Punkte (Gefrierpunkt) der beiden anderen 32, der Fundamentalabstand ist in 180 Theile getheilt, so daß am Siedepunkte 212° steht.

Fig. 111. Fig. 112. Fig. 113.



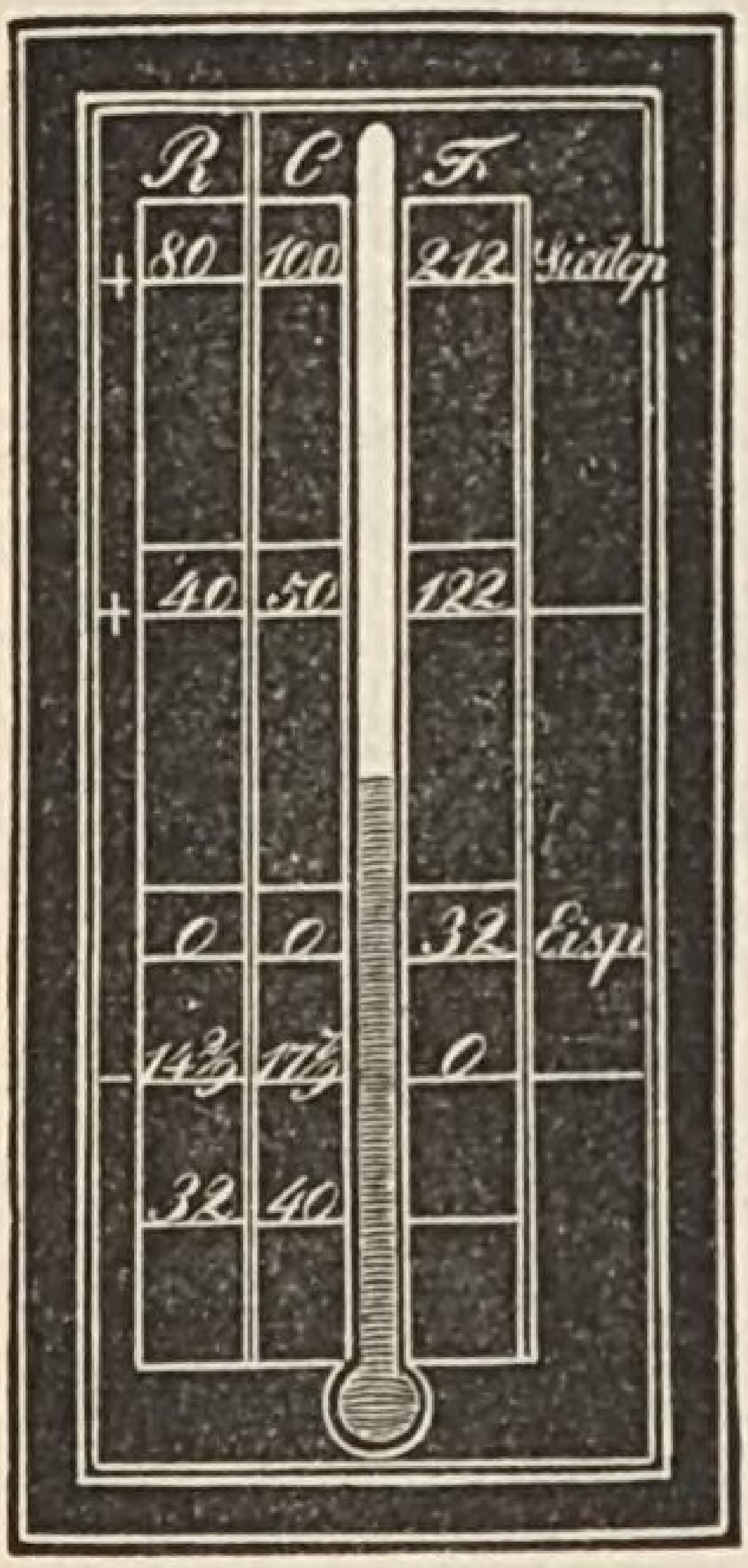
Dem 0 Punkte bei Fahrenheit entspricht
— $17^7/_9{}^0$ bei Celsius und — $14^2/_9{}^0$ bei Réaumur, Fig. 114.

Diese Kälte herrschte im Jahre 1709 in Königsberg, wo Fahrenheit lebte; da er eine größere Kälte noch nicht erlebt hatte, er vielleicht auch glaubte, daß es kälter nicht werden könne, setzte er hier den 0 Punkt seines Thermometers.

Da $80^0 R = 100^0 C$, so ist $1^0 R = {}^{100}/_{80}{}^0 C = {}^5/_4{}^0 C$, und da
$100^0 C = 80^0 R$, „ „ $1^0 C = {}^{80}/_{100}{}^0 R = {}^4/_5{}^0 R$.

Hieraus ergiebt sich:

Fig 114.



Um die Anzahl der Grade nach Réaumur in solche von Celsius umzuwandeln, multiplicirt man sie mit $^5/_4$,

z. B. $28^0\,R = {^5/_4}28 = \frac{5 \cdot 28}{4} = 35^0\,C$

$-8^0\,R = -{^5/_4}8\,C = -10^0\,C.$

Um die Anzahl der Grade nach Celsius in solche von Réaumur umzuwandeln, multiplicirt man sie mit $^4/_5$,

z. B. $40^0\,C = {^4/_5}40^0\,R = 32^0\,R$

Für große Hitze- und Kältegrade kann Quecksilber nicht gebraucht werden, denn es siedet bei $350^0\,C$ und gefriert bei $-39^0\,C$.

Um größere Kältegrade zu messen, wendet man ein Weingeistthermometer an, bei welchem also das Quecksilber durch Weingeist ersetzt ist, welcher bis jetzt noch nicht hat zum Gefrieren gebracht werden können.

Für große Hitzegrade wendet man Hitzemesser, Pyrometer an, auf die wir jedoch nicht weiter eingehen.

Ausdehnung der Körper. Die Wärme dehnt nicht alle Körper in demselben Maße aus; die Ausdehnung ist für viele Körper durch genaue Versuche festgestellt.

Bei der Zunahme der Temperatur von $0-100^0\,C$ dehnen sich

Blei	um $^1/_{351}$	der ursprünglichen Länge aus.
Glas	„ $^1/_{1160}$	
Gußeisen	„ $^1/_{900}$	
Kupfer	„ $^1/_{582}$	
Messing	„ $^1/_{535}$	
Stabeisen	„ $^1/_{812}$	
Stahl, ungehärtet,	„ $^1/_{927}$	
„ gehärtet,	„ $^1/_{907}$	
Zink	„ $^1/_{340}$	
Zinn	„ $^1/_{516}$	
Wasser	„ $^1/_{71}$	

Wasser macht von allen Körpern insofern eine Ausnahme, als es bei $+4^0\,C$ am dichtesten ist — ein gewisses Gewicht davon nimmt bei dieser Temperatur den kleinsten Raum ein —; sowohl bei Zunahme wie auch bei Abnahme der Temperatur dehnt es sich aus. Eis ist leichter als Wasser, es schwimmt auf diesem, während z. B. ein Stück Blei in geschmolzenem Blei untersinkt. Der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren kann nichts widerstehen; die stärksten Rohrleitungen werden durch in denselben gefrierendes Wasser gesprengt.

Schmelzen und Sieden. Einen festen Körper durch Hitze in den flüssigen Zustand überführen, nennt man, ihn schmelzen. Die Temperaturen, bei welchen Körper schmelzen, sind sehr verschieden.

Wie es Körper giebt, die man noch nicht hat zum Gefrieren bringen können, so giebt es auch solche, die jeder Hitze widerstehen, z. B. Platin.

Schmelzpunkte einiger Körper.

Schmiedeisen bei . .	1500—1600°
Stahl	1300—1400°
Gußeisen, weißes, . .	1050°
„ graues, . .	1200°
Kupfer	1100—1200°
Bronce	900°
Antimon	432°
Zink	360°
Blei	330°
Wismuth	260°
Zinn	230°
Eis	0°
Terpentinöl	— 10°*)
Quecksilber	— 39°

Es giebt Gemische (Legirungen) von Metallen, welche einen niedrigeren Schmelzpunkt haben als jedes ihrer Gemengtheile, z. B. ein Gemisch von 4 Thl. Wismuth, 1 Thl. Blei und 1 Thl. Zinn schmilzt schon bei 94°, während Zinn allein eine Temperatur von 230° zum Schmelzen erfordert.

Flüssige Körper werden durch Wärme in den luftförmigen Zustand übergeführt, einige feste Körper jedoch auch ohne vorher flüssig geworden zu sein, z. B. Kampfer, Jod, Moschus u. s. w.; wie denn Eis und Schnee ebenfalls verschwinden können, ohne daß sie vorher zu Wasser wurden. Die Flüssigkeiten gehen schon bei gewöhnlicher Temperatur in die Gasform über, sie verdunsten, was nur an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man der Flüssigkeit mehr Wärme zuführt, so tritt zunächst eine lebhaftere Verdunstung ein, dann bilden sich kleine Dampfblasen und schließlich tritt ein Aufwallen der Flüssigkeit ein, die sich bildenden Blasen treten in die Luft; man nennt diesen Vorgang Sieden, welches bei Wasser bekanntlich bei 100° C eintritt.

---

*) Anmerkung. Terpentinöl und Quecksilber fangen also bei —10° bezw. —39° an zu gefrieren.

Siedepunkte einiger Körper.

Reines Wasser bei	100°
Wasser mit 10% Kochsalz .	101,5°
„ „ 40% „ .	108,5°
Alkohol	79°
Terpentinöl	157°
Leinöl	316°
Quecksilber	350°

Wärmeeinheit. Diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 kg Wasser um 1° mehr zu erwärmen, nimmt man als **Wärmeeinheit** an und nennt sie **Calorie**. Um die Anzahl der Calorien zu finden, multiplicirt man die Anzahl der Kilogramme mit der Anzahl Grade nach Celsius, z. B.:

In 3 kg Wasser von 20° sind 3 × 20 = 60 Calorien
„ 180 kg Wasser von 100° sind 180 × 100 = 18000 Calorien
„ 1000 kg Wasser von 1° sind 1000 × 1 = 1000 Calorien.

Wenn ein fester Körper in den flüssigen Zustand übergeht, so gebraucht er immer Wärme; um 1 kg Schnee von 0° zu Wasser von 0° zu machen, muß man 1 kg Wasser von 80° hinzuschütten, also 80 Calorien aufwenden, es entstehen 2 kg Wasser von 0°. Das Wärmequantum von 80 Calorien ist nicht verloren gegangen, es steckt in dem Wasser von 0°, welches also mehr Wärme hat als dasselbe Quantum von Schnee, sie ist nur nicht fühlbar, sie ist, wie man sagt, **gebunden** oder **latent**.

Die zum Flüssigwerden nöthige Wärme entzieht der Körper der Umgebung und sich selbst, durch Flüssigmachen von Körpern ist man also im Stande Kälte zu erzeugen, welchen Umstand man sich bei den **Kältemischungen** zu Nutze macht. So sinkt die Temperatur durch Mischung von

5 Thl. Glaubersalz	u. 8 Thl.	Salzsäure	von + 10°	auf	— 8°
1 „ Wasser	„ 1 „	salzsaurem Amoniak .	„ + 10°	„	— 15°
1 „ Schnee	„ 1 „	Kochsalz	„ 0°	„	— 18°
1 „ „	„ 1 „	krystallisirtem Chlorcalcium	„ 0°	„	— 45°

Wenn umgekehrt flüssige Körper in den festen Zustand übergehen, so muß ebenso viel Wärme frei (fühlbar) werden, wie zum Flüssigmachen nöthig war, und dieses geschieht in der That, wie durch Versuche nachzuweisen ist.

Wenn sich in der Luft Schnee bildet, so gefrieren große Wassermassen die freiwerdende Wärme wird fühlbar; vor dem Schneien wird das Wetter milder.

Während des Siedens bleibt die Temperatur — beim Wasser 100° — ungeändert. Die zugeführte Wärme dient dazu, die Flüssigkeit in Gas zu verwandeln, welches also mehr Wärme hat, als das gleiche Quantum der Flüssigkeit; in diesem Falle ist in dem Dampfe **gebundene** oder **latente** Wärme. Leitet man den Dampf von 100 kg Wasser, welcher also 100° fühlbare Wärme hat, in 540 kg Wasser von 0°, so erhält man 640 kg Wasser von 100°, welche

640 × 100 = 64000 Calorien enthalten.

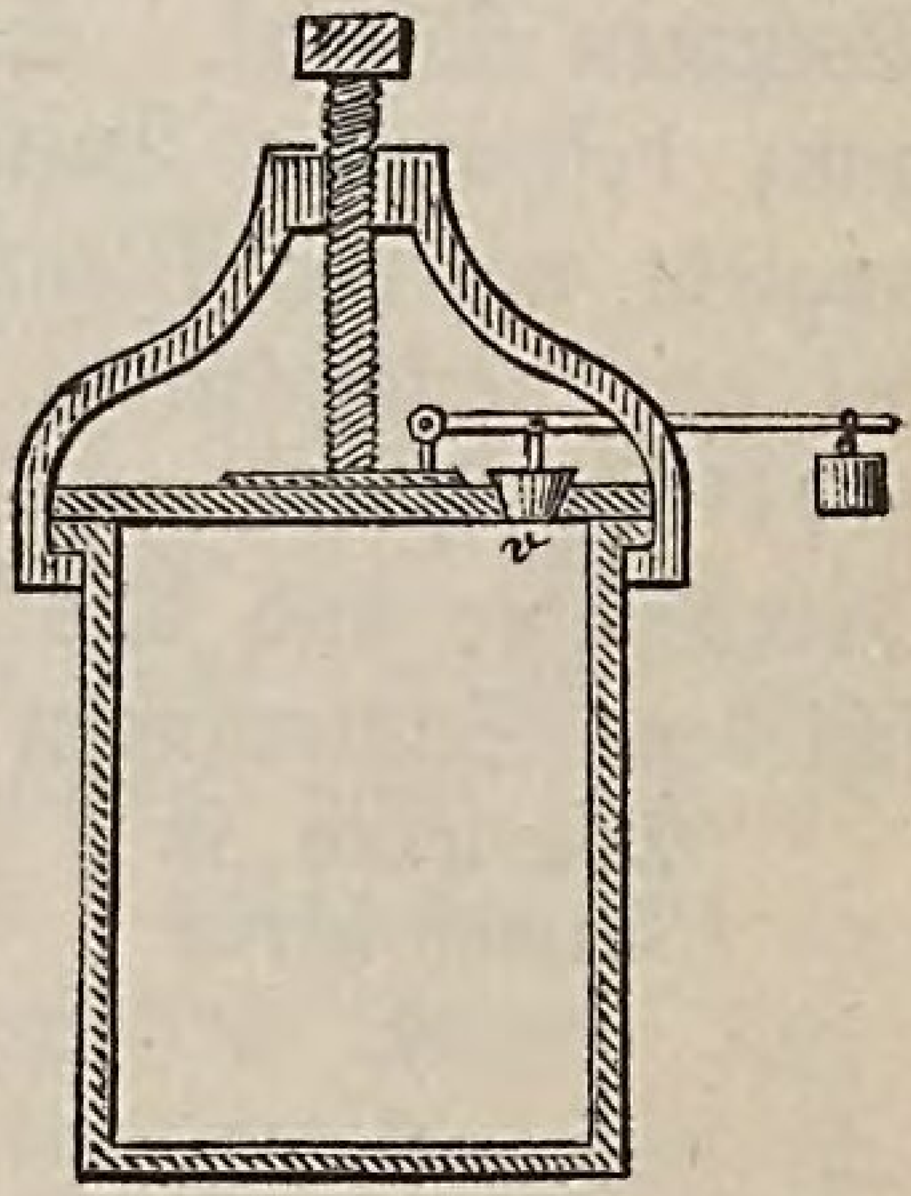
Vorher hatten wir 100 kg Dampf von 100°, also:

$$100 \times 100 = 10000 \text{ Calorien},$$

demnach jetzt 64000 — 10000 = 54000 Calorien mehr, welche vorher nicht fühlbar in den 100 kg Dampf steckten, d. i. pro 1 kg 540 Calorien. Die fühlbare und latente Wärme zusammen betragen demnach pro 1 kg Dampf 540 + 100 = 640 Calorien.

Wenn Wasser in einem überall geschlossenen Gefäße erhitzt wird, so steigt die Temperatur immer mehr und die Spannung des Dampfes nimmt stetig zu. Man ist demnach im Stande, Wasser auf mehr als 100° zu erhitzen, was außer bei Dampfkesseln, in dem Papin'schen Dampfkochtopfe geschieht, Fig. 115, in welchem Speisen in kurzer Zeit gar kochen und, in Folge der größeren Temperatur, auch zähere und härtere Massen weich werden. Wenn der Dampfdruck zu groß wird, so öffnet sich das Ventil v und läßt einen Theil des Dampfes entweichen.

Fig. 115.



In einem solchen geschlossenen Gefäße entspricht jedem bestimmten Drucke eine bestimmte Siedetemperatur und zwar liegt der Siedepunkt um so höher, je größer die Dampfspannung ist.

Es liegt der Siedepunkt bei

1	Atmosphäre	bei	100°
2	"	"	120,6°
3	"	"	133,9°
4	"	"	144°
5	"	"	152°
6	"	"	159,2°
7	"	"	165,3°
8	"	"	170,8°
9	"	"	175,8°
10	"	"	180,3°
11	"	"	184,5°
12	"	"	188,4°

Die Tabelle lehrt, daß die Temperatur des Wassers, die fühlbare Wärme, bei derselben Zunahme an Spannung des Dampfes immer weniger zunimmt. Mit der gebundenen Wärme ist es umgekehrt, sie nimmt mit der Zunahme der Spannung ab. In der Praxis nimmt man an, daß die Summe der fühlbaren und latenten Wärme bei allen Dampfspannungen immer gleich groß ist, nämlich 640°.

Wenn der auf dem Wasser lastende Luftdruck geringer als 1 Atm. ist,

wenn also das Barometer weniger als 76 cm zeigt, so kocht es auch bei geringerer Temperatur, so siedet z. B. auf dem Berge St. Bernhard, (Höhe 2000 m, Barometerstand 54 cm) Wasser schon bei 92° und auf dem Mont Blanc (4400 m Höhe und 42 cm Barometerstand) bei 84°. In solchen Höhen ist der Papin'sche Dampfkochtopf bei Zubereitung der Speisen unentbehrlich.

Spezifisches Volumen des Dampfes. Aus einem bestimmten Quantum Wasser bildet sich bei jeder Temperatur ein ganz bestimmtes Volumen Dampf. Spannung, Temperatur und Volumen stehen in ganz bestimmter Beziehung zu einander. Diejenige Zahl, welche angiebt, wie viel Volumina Dampf sich aus einem Volumen Wasser bei den verschiedenen Spannungen bilden, nennt man das spezifische Volumen des Dampfes. Folgende Tabelle giebt die Temperatur und das spezifische Volumen von Wasserdampf für verschiedene Spannungen an.

Spannung in Atmosphären	Temperatur nach Celsius	Spezifisches Volumen
1	100	1700
2	120,6	900
3	133,9	620
4	144	477
5	152	388
6	159,2	326
7	165,3	282
8	170,8	248
9	175,8	221
10	180,3	200
11	184,5	190
12	188,4	176

Man kann also z. B. aus 1 ccm Wasser Dampf bilden 1700 ccm von 1 Atm., 248 ccm von 8 Atm., 176 ccm von 12 Atm.

Dampf, welcher mit dem erzeugenden Wasser in Berührung ist, heißt gesättigt; wenn er von dem Wasser abgeschlossen ist und für sich weiter erwärmt wird, so ist er überhitzt. Dieser folgt anderen Gesetzen als jener.

Spezifische Wärme und Wärmecapazität. Wasser gebraucht von allen Körpern am meisten Wärme, um seine Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden steigen zu machen. Die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° mehr erwärmt, nannten wir eine Calorie; jedes kg eines andern Körpers braucht also weniger, nur einen Bruchtheil einer Calorie, welchen wir seine spezifische Wärme nennen. Die Eigenschaft der Körper, mehr oder weniger Wärme zu gebrauchen, damit ihre Temperatur um eine gleiche Anzahl von

Graden steigt, heißt Wärmecapazität. Wenn dieselbe für Wasser = 1 gesetzt wird, so ist die

(Wärmecapazität des Wassers = 1)
" " Kupfers = $^1/_{11}$
" " Eisens = $^1/_9$
" " Quecksilbers = $^1/_{30}$.

Wenn es darauf ankommt, möglichst viel Wärme aufzuspeichern, welche allmählich wieder abgegeben werden soll, so nimmt man am zweckmäßigsten Wasser, z. B für Wärmeflaschen, Fußwärmer für Eisenbahncoupé's u. s. w., falls dessen Anwendung nicht andere Bedenken entgegenstehen.

Wärmeleitung. Wenn man einen Eisenstab mit dem einen Ende in ein Schmiedefeuer legt, so wird er bald auch am anderen Ende so heiß, daß man ihn mit der bloßen Hand nicht mehr anfassen kann. Anders ist es mit einem Stück Holz, dasselbe kann an dem einen Ende schon verkohlt sein und flammen, ohne daß man am anderen Ende eine merkliche Hitze empfindet. Eisen hat also die Fähigkeit, die Wärme von einem Theilchen nach dem anderen fortzuleiten, während dieses bei dem Holze viel weniger der Fall ist. Man unterscheidet hiernach gute und schlechte Wärmeleiter. Die besten Wärmeleiter sind die Metalle, die schlechtesten Haare, Wolle, Federn, Holz, Stroh, Wasser, Luft; mittelgute Leiter zwischen diesen sind die Halbleiter, Steine, Glas, Knochen, Leinwand 2c. Wenn man das Leitungsvermögen von

Silber	gleich	1000	setzt, so ist das von
Kupfer	"	736	
Messing	"	231	
Zink	"	190	
Zinn	"	145	
Eisen	"	119	
Blei	"	85	
Platina	"	84	
Quecksilber	"	63	
Wismuth	"	18	

Körper, welche keine Wärme abgeben sollen, umgiebt man mit den schlechtesten Wärmeleitern, also den menschlichen Körper mit Wolle, Pelz u. s. w., Dampfleitungen mit Filz, Stroh u. dergl.

V. Mechanik.

Einleitung. Wenn ein Schiffer seinen Kahn über ein stillstehendes Wasser rudert, so wird er das gegenseitige Ufer genau an der Stelle er=

reichen, auf welche die Richtung seines Kahns während der Fahrt hinwies. Gänzlich verschieden von dieser erfolgt dagegen die Bewegung, wenn ein Fluß zu überschreiten ist. Nimmt der Kahn bei der Fahrt eine zur Flußrichtung rechtwinklige Lage ein, so wird er durch die Strömung aus seiner Fahrrichtung abgetrieben und gelangt an einem um so tiefer gelegenen Punkte an das jenseitige Ufer, mit je geringerer Kraft der Schiffer rudert und je heftiger die Flußströmung ist. Soll der Fluß rechtwinklig durchkreuzt werden, so muß der Kahn von vornherein eine schräg gegen die Flußrichtung geneigte Stellung bekommen. Aehnliche Beziehungen. wie hier zwischen der Flußgeschwindigkeit und der von dem Schiffer mit Hülfe seines Ruders ausgeübten Arbeit stattfinden, kommen bei allen Bewegungen in Frage, welche in Folge verschiedener auf einen Körper wirkender Einflüsse eintreten.

Soll eine schwere und untheilbare Last gehoben werden, so können entweder mehrere Personen dieselbe erfassen und nach dem Bestimmungsorte tragen, oder die Beförderung kann durch eine geringere Zahl von Arbeitern unter Benutzung von maschinellen Apparaten, wie Winden, Flaschenzügen 2c., erfolgen, man wird aber in letztem Falle stets die Erfahrung machen, daß das, was durch die Hülfsmaschinen an Kraft gewonnen wird, an Zeit und Geschwindigkeit wieder verloren geht. Wie also zwischen den verschiedenen Kräften bezüglich der Fahrrichtung des Kahns, so bestehen hier bestimmte Beziehungen zwischen der erforderlichen Angriffskraft und der Geschwindigkeit, mit welcher die Last gehoben wird.

Die Lösung der angeführten, sowie aller derartiger sich in der Praxis aufwerfender fernerer Fragen und Aufgaben und dadurch die Verschaffung von Klarheit über die in jedem Einzelfalle anzuwendenden Mittel und passendsten Hülfswerkzeuge ist Aufgabe der Mechanik.

Diese Aufgabe ist aber eine noch weit umfangreichere.

Die Mechanik beschäftigt sich nicht nur mit der Bewegung der Körper, sondern auch mit ihren physikalischen Eigenschaften, insbesondere mit ihrer Festigkeit, also dem Widerstande, welchen die Körper unter verschiedenen Verhältnissen ihrer Zerstörung entgegensetzen. Die Mechanik giebt uns demnach auch Aufschluß über die Dimensionen, in welchen Arbeitsmaschinen, Bauwerke und andere Gegenstände ausgeführt werden müssen, damit sie den auf sie einwirkenden Kräften widerstehen können.

Je nachdem die Körper sich im festen, flüssigen oder luftförmigen Zustande befinden und jenachdem sie für den Zustand der Ruhe

(im Zustande des Gleichgewichts) oder den der Bewegung betrachtet werden sollen, zerfällt die Mechanik in

I Mechanik fester Körper, und diese wieder in:
Statik fester Körper — Statik,
Dynamik fester Körper — Dynamik;
II Mechanik flüssiger Körper und zwar:
Statik flüssiger Körper — Hydrostatik,
Dynamik flüssiger Körper — Hydrodynamik;
III Mechanik luftförmiger Körper und zwar:
Statik luftförmiger Körper — Aerostatik,
Dynamik luftförmiger Körper — Aerodynamik.

Statik fester Körper.

Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften. Die Stelle eines Körpers, an welcher eine Kraft angreift, wird der Angriffspunkt der letzteren genannt.

Die auf einen Körper einwirkenden Kräfte können sich entweder gegenseitig verstärken oder aufheben; sie können ferner in ihren Richtungen zusammenfallen oder sich kreuzen, in einer oder in verschiedenen Ebenen wirken.

Ist der Angriffspunkt für zwei auf einen Körper wirkende Kräfte derselbe, suchen also beispielsweise zwei vor einen Zug gespannte Locomotiven diesen fortzuziehen, so wird die Zugkraft der hinteren offenbar durch die der vorderen Locomotive verstärkt.

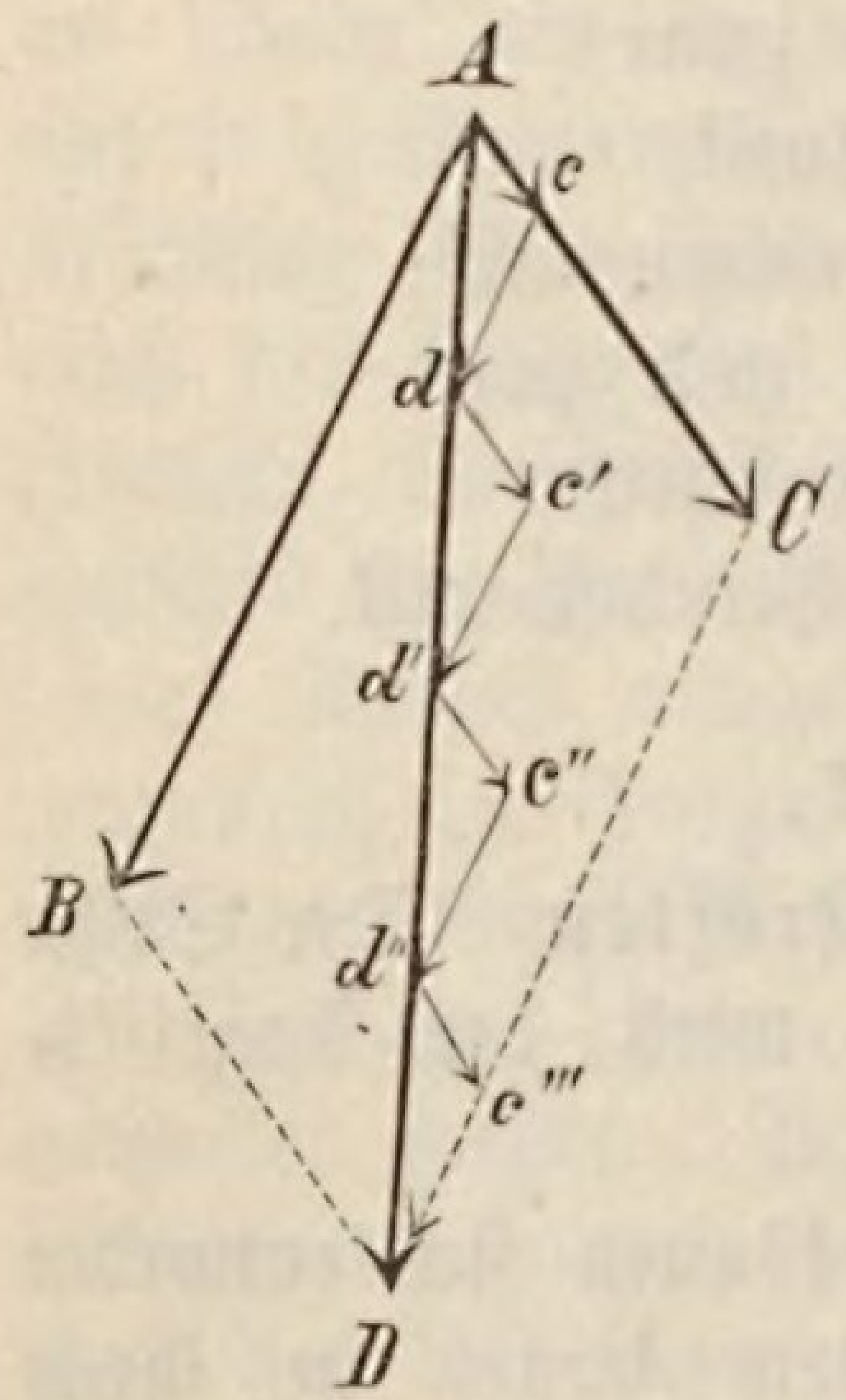
Die auf den vorderen Wagen wirkende Kraft ist demnach der doppelten Zugkraft nur einer Locomotive gleich. Wirken dagegen die Zugkräfte nach entgegengesetzten Richtungen, sucht also im obigen Falle eine vor dem Zuge befindliche Locomotive die Wagen vorwärts zu bewegen, während diese durch eine zweite, hinter den Zug gehängte Locomotive zurückgehalten werden, so fällt die Kraft, welche für die Bewegung des Zuges wirksam wird, offenbar gleich der Differenz der Zugwirkungen der beiden Locomotiven aus.

Parallelogramm der Kräfte. Anders liegen die Verhältnisse, wenn Kräfte nicht in derselben Richtung wirken.

Bezeichnet A, Fig. 116, einen Gegenstand, z. B. einen schweren Stein, der auf seiner Unterlage verschoben werden soll, und A B und A C die Richtungen, in welchen zwei Pferde, deren Zuggeschirre an dem gleichen Angriffspunkte A des Steins befestigt sind, diesen fortbewegen, wobei zugleich die Längen A B und A C das Verhältniß der durch beide Thiere ausgeübten Zugkräfte darstellen mögen, so

wird die Bewegung des Steins in keiner der beiden angedeuteten Zugrichtungen, sondern vielmehr in einer Mittelrichtung A D erfolgen. Ueber die Lage dieser Linie A D kann man sich durch folgende Betrachtung Aufschluß verschaffen.

Fig. 116.



Wird angenommen, daß die beiden Pferde den Stein nicht gleichzeitig fortschaffen, sondern daß sie nacheinander arbeiten, so werden die Entfernungen A C und A B, um welche jedes der beiden Thiere den Stein bewegt, den Zugkräften proportional ausfallen. Arbeitet das schwächere Thier zuerst und zieht es den Stein von A nach C, so wird das nach ihm angespannte zweite Thier den Stein offenbar um ein Maß C D in der mit der Linie A B gleichen (parallelen) Zugrichtung fortbewegen, welches der Linie A B gleich ist.

Die nacheinander arbeitenden Thiere würden also den Stein von A nach D, also nach der dem Punkte A gegenüberliegenden Spitze des Parallelogramms A C D B befördern. An der Lage des Punktes D wird aber nichts geändert, wenn beide Thiere öfter und je auf kürzere Zeit nacheinander angespannt werden; die Bewegung des Steins erfolgt in diesem Falle nach den Linien A c, c d, d c′, c′ d′, d′ c″, c″ d″, d″ c‴, c‴ D und endigt also wieder in dem Punkte D. Werden die jeweiligen Arbeitszeiten noch mehr verringert, so nähert sich die gebrochene Linie immer mehr der geraden Mittellinie A D, mit welcher sie endlich für gemeinsames Arbeiten beider Pferde zusammenfällt.

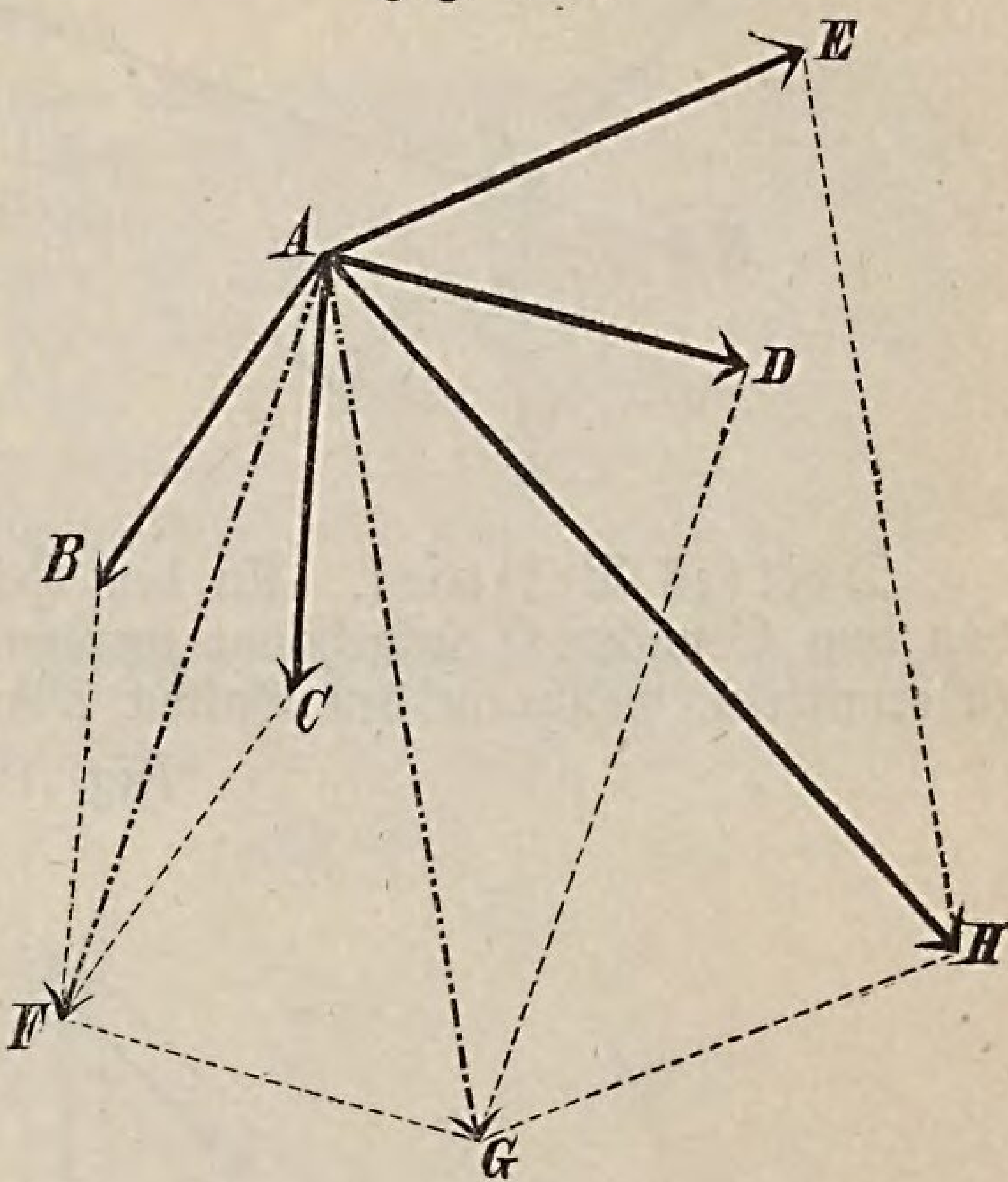
Die Länge und die Lage der Linie A D zu den beiden Linien A B und A C bezeichnen zugleich das Maß und die Richtung der Kraft, mit welcher der Stein durch die beiden Einzelkräfte fortgezogen wird, es dürfen also jene beiden Kräfte durch diese eine Mittelkraft, welche die „Resultirende“ beider genannt wird, ersetzt werden.

Das Resultat unserer Betrachtung wird in der Mechanik der Satz von dem Parallelogramm der Kräfte genannt. Dieser Satz lautet: Die Resultirende zweier unter einem Winkel auf einen Punkt wirkender Kräfte ist gleich der Diagonale des Parallelogramms, welches man aus diesen construiren kann.

Mit Hülfe dieses Satzes ist es leicht, auch für mehrere auf einen Punkt wirkende Kräfte die Resultirende oder die Mittelkraft zu finden.

Bezeichnen z. B. in Fig. 117 die Linien A B, A C, A D und A E vier Kräfte ihren Stärken und Richtungen nach, mit welchen sie auf den Punkt A wirken, so können AB und A C durch A F ersetzt werden. Werden A F und A D mit einander combinirt, so erhält man die Mittelkraft A G, und aus der Combination dieser und der Kraft A E die Kraft A H, welche demnach die Resultirende aus den vier auf den Körper einwirkenden Kräften darstellt.

Fig. 117.



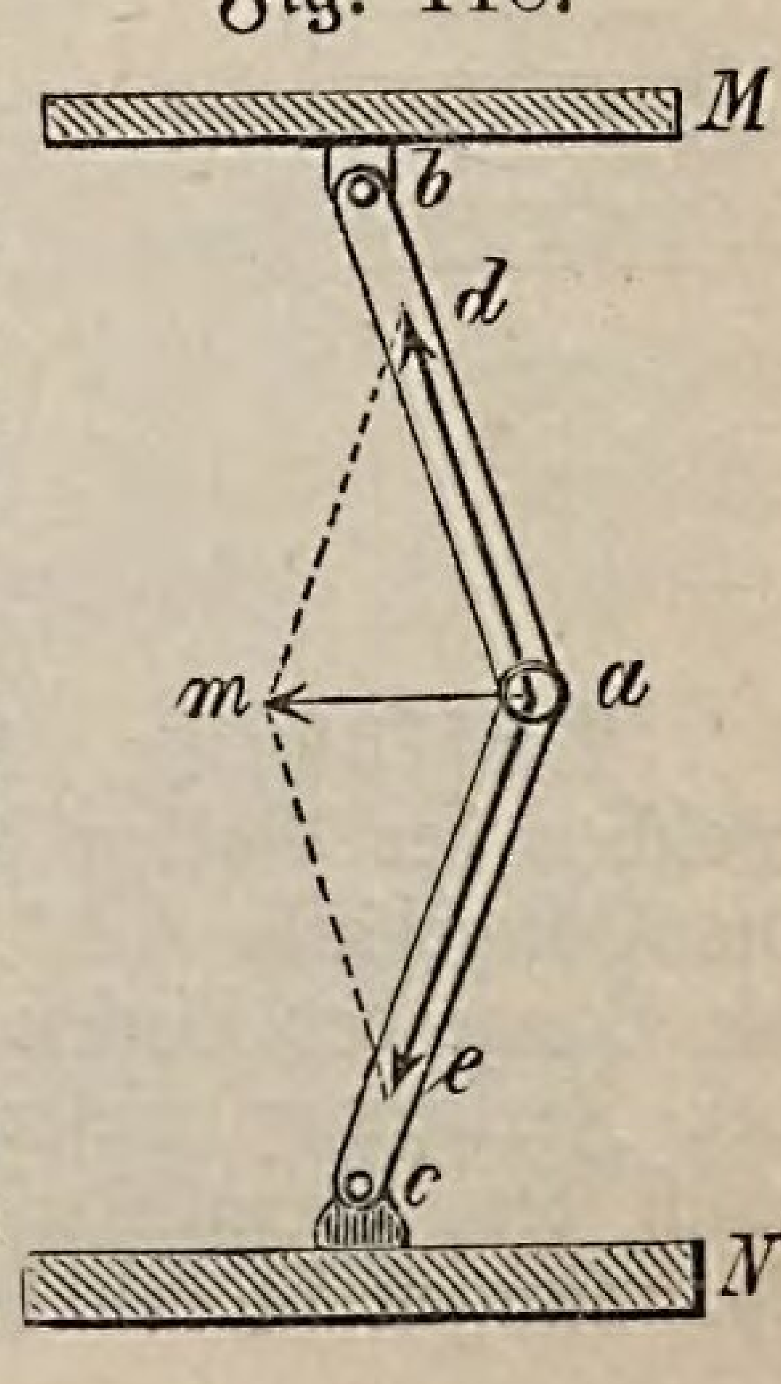
Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Kräfte bei der Aufsuchung ihrer Mittelkräfte mit einander combinirt werden, bleibt auf die Größe und Richtung der letzteren ohne Einfluß.

Der Satz von dem Parallelogramme der Kräfte kann auch umgekehrt werden, indem ebenso, wie zwei Kräfte zu einer Mittelkraft combinirt werden können, auch eine Kraft in zwei andere zerlegt werden darf. Es ist bei dieser Zerlegung nur dafür zu sorgen, daß die ursprüngliche Kraft die Resultirende der neuen Kräfte bildet.

Als Beispiel für die Zerlegung einer Kraft in zwei Seitenkräfte kann die Kniehebelpresse dienen, Fig. 118.

Wird der Verbindungspunkt a der beiden Streben a b und a c mit einer Kraft a m in der Richtung nach m hin angezogen, so kann man diese Kraft durch die beiden Seitenkräfte a d und a e des Parallelogramms a d m e ersetzen. Die auf die Preßplatten M und N ausgeübte Wirkung der Kraft a m treibt demnach die beiden Platten in den Richtungen der Streben a b und a e mit einer Kraft auseinander, deren Stärkenverhältniß zu der Kraft a m durch das Längenverhältniß der Linien a e oder a d zu a m ausgedrückt wird.

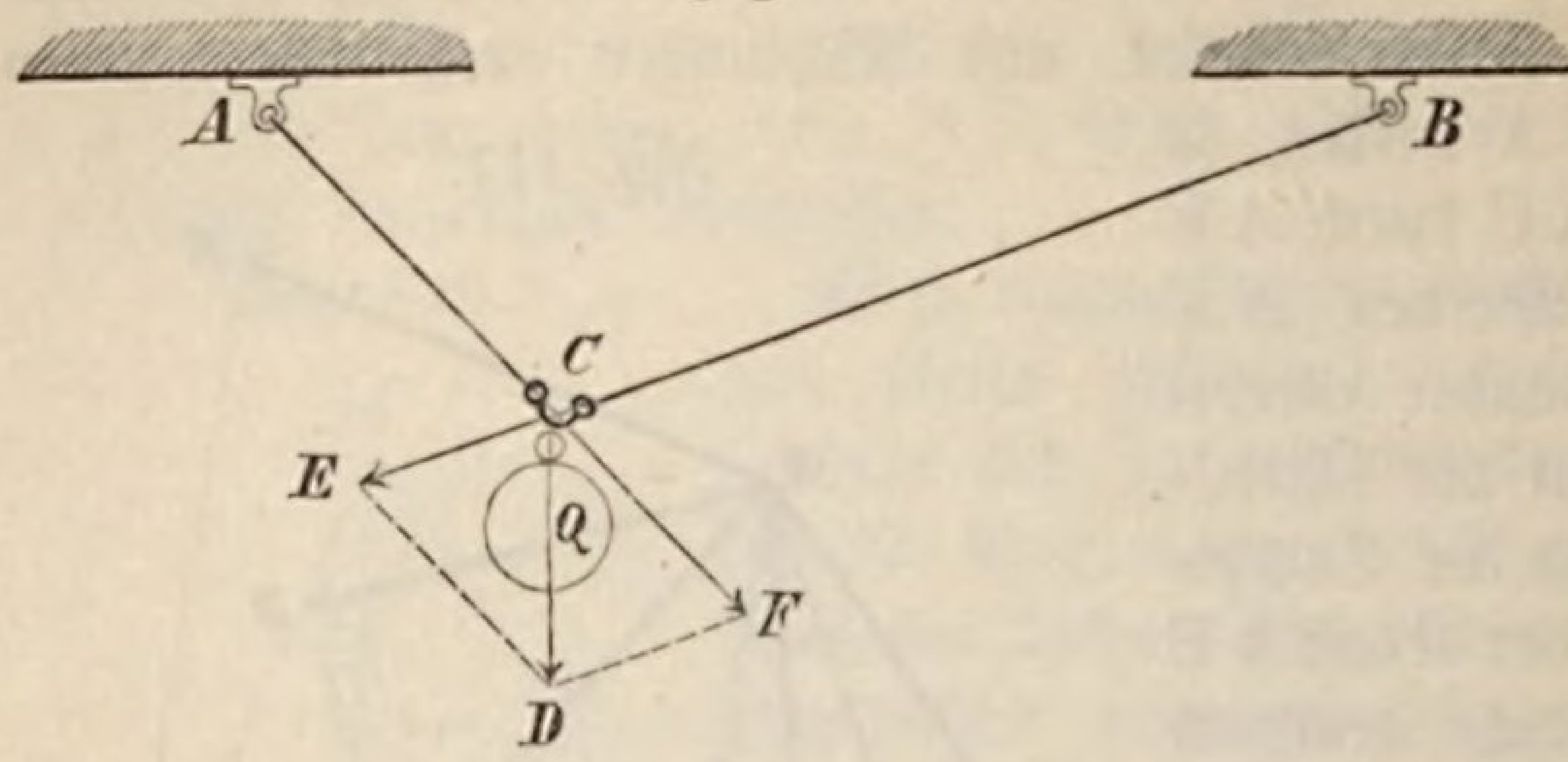
Fig. 118.



Zweites Beispiel. An einem Seile ABC, Fig. 119, welches bei A und bei B befestigt ist, hängt bei C ein Gewicht Q; es sollen die Spannungen des Seils zwischen A und C und zwischen C und B ermittelt werden.

Auflösung. Wird die Kraft CD, mit der das Gewicht Q das Seil bei C niederzieht, in die beiden Seitenkräfte C E und C F zerlegt, welche mit den Rich-

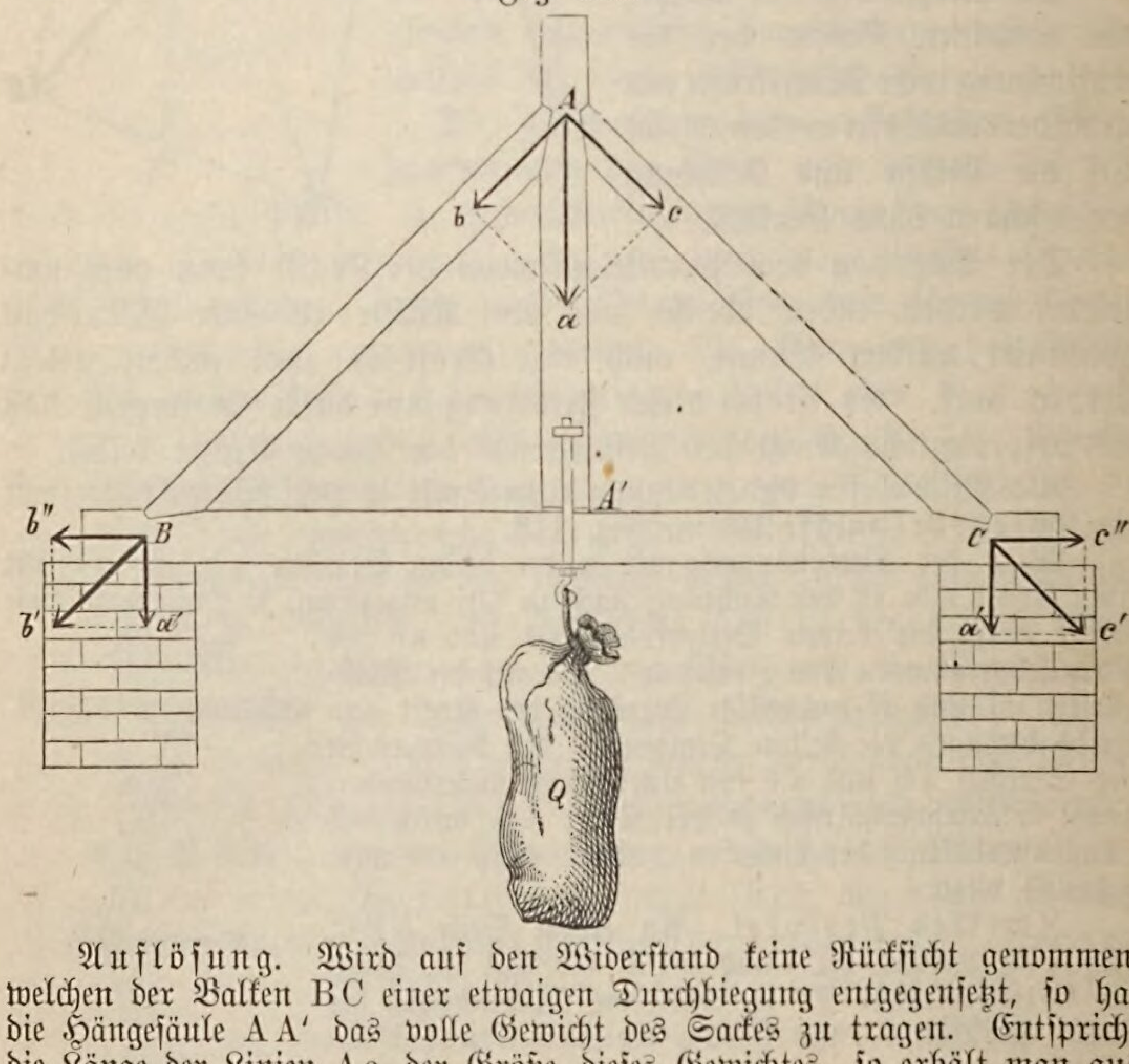
Fig. 119.



tungen BC und AC zusammenfallen, und das Parallelogramm vervollständigt, so ist die Spannung in den Seilenden CB und AC um so viel mal größer als das Gewicht Q, wie die Längen CE und CF größer als die Linie CD sind.

Drittes Beispiel. An dem Hängewerke der Fig. 120 soll ein Sack von dem Gewichte Q aufgehängt werden; es ist die Größe der Spannungen zu ermitteln, welche in den Balken AA', AB, AC und BC auftreten.

Fig. 120.



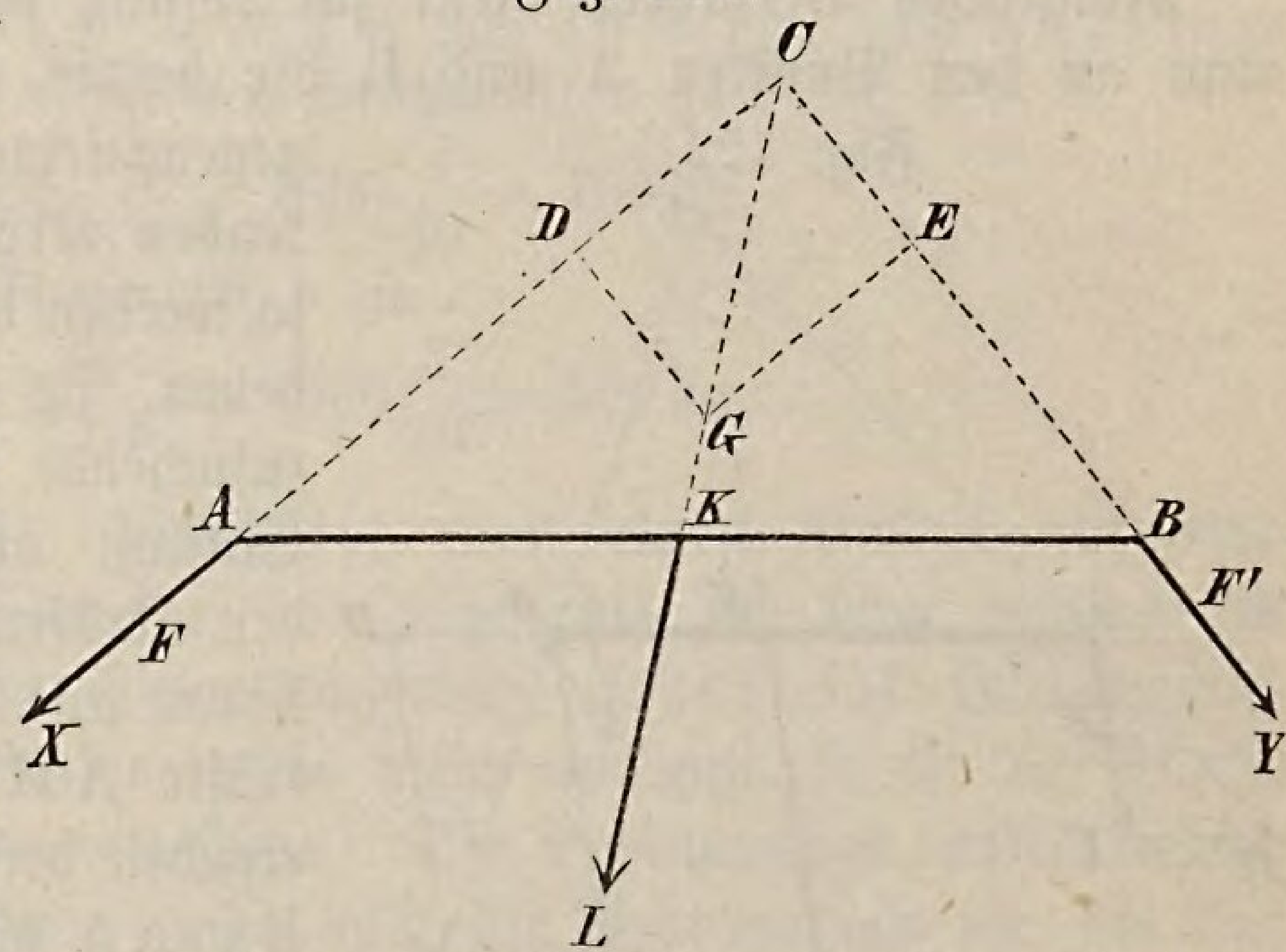
Auflösung. Wird auf den Widerstand keine Rücksicht genommen, welchen der Balken BC einer etwaigen Durchbiegung entgegensetzt, so hat die Hängesäule AA' das volle Gewicht des Sackes zu tragen. Entspricht die Länge der Linien Aa der Größe dieses Gewichtes, so erhält man aus der Zerlegung dieser Mittelkraft in die beiden Seitenkräfte Ab und Ac nach dem Parallelogramm der Kräfte in den letzteren offenbar die Druckspannungen in den beiden Streben AB und AC.

Werden die Kräfte A b und A c in ihre Verlängerungen nach B und C verlegt, so daß B b′ = A b und C c′ = A c ist, so ergeben die Zerlegungen der Kräfte B b′ und C c′ in B a′ und B b″, und ferner in C a′ und C c″ die in den Balken B C auftretenden Zugkräfte und die Auflagerdrücke des Balkens auf die Unterstützungsmauern.

Die Kräfte B b″ und C c″ wirken nach entgegengesetzten Richtungen hin und heben sich gegenseitig auf, indem sie den Balken B C auseinander zu reißen suchen. Würde man den Balken B C fortgelassen und die Streben direct gegen die Mauern gestützt haben, so wäre eine Absteifung der letzteren durch Queranker nöthig, für deren Stärke die Größe der Zugkräfte B b″ und C c″ maßgebend sein müßte. Die beiden Verticaldrücke B a′ und C a′ auf die Seitenmauern fallen zusammen eben so groß aus wie das Gewicht Q des Sackes, wenn das Eigengewicht der Balken unberücksichtigt bleibt.

Zusammensetzung zweier Kräfte, welche nicht an dem gleichen Punkte angreifen. Bezeichnen in der Fig. 121 A und B zwei fest mit einander verbundene Punkte, auf welche die Kräfte F und F′ in den Richtungen A X und B Y wirken, ist z. B. A B ein Balken, welchen zwei bei A und B angespannte Pferde in den Pfeilrichtungen fortzuziehen suchen, so kann jede Bewegung des Balkens verhindert werden, wenn er an einem noch näher aufzusuchenden Punkte mit einer ebenfalls zu ermittelnden Kraft zurückgehalten wird.

Fig. 121.



Werden die Richtungslinien A X und B Y der beiden Kräfte F und F′ nach rückwärts verlängert, bis sie sich in C schneiden, so ist einleuchtend, daß von C aus auf die Punkte A und B ausgeübte Druckkräfte, welche obigen Zugkräften gleich sind, dieselbe Wirkung auf den Balken ausüben wie jene, daß also die Zugkräfte F und F′ durch die beiden Druckkräfte C D und C E ersetzt werden können. Die Mittelkraft dieser beiden Druckkräfte bildet aber die Linie C G, deren Verlängerung den Balken bei K schneidet. Es bildet K den gesuchten Befestigungspunkt des Balkens und entspricht die Länge der Linie K L, wenn sie der Resultirenden C G der beiden Seitenkräfte C D = F und C E = F′ gleich gemacht wird, der Kraft mit welcher

der Balken festgehalten werden muß. Soll die Befestigung des Balkens an einem weiter rückwärts gelegenen Punkte — etwa mit Hülfe eines Seiles — erfolgen, so muß offenbar dieser Befestigungspunkt in der Linie KC oder in deren Verlängerung liegen.

Fallen, Fig. 122, die Kräfte F und F′ des vorigen Falles parallel aus, so ist die Resultirende KL beider gleich der Summe F + F′. Der Angriffspunkt K für die Mittelkraft hat eine solche Lage, daß sich die Längen, an welchen die Kräfte wirken, umgekehrt wie diese selbst verhalten, daß also das Verhältniß AK : KB = F′ : F zutrifft.

Will man den Punkt K durch Zeichnung bestimmen, so führt der bei dem vorigen Beispiel eingeschlagene Weg nicht zum Ziele, weil die Verlängerungen von AX und BY parallel sind, sich also nicht schneiden.

Folgendes Verfahren dient zur Lösung der Aufgabe. — Bringt man an den Punkten A und B die beiden gleichen, aber nach entgegengesetzten Richtungen hin wirkenden Kräfte AE und BD an, so werden diese sich gegenseitig aufheben, sie üben also auf die aufzusuchende Mittelkraft L keinerlei Einfluß aus. Werden aber aus den Kräften AX und AE, und ferner aus BY und BD die Mittelkräfte AH und BG gebildet, so ergeben deren Verlängerungen über B und A hinaus den Durchschnittspunkt C, und bildet der Schnittpunkt K mit der Linie AB einer von C aus mit den Linien AX und BY gezogenen Parallelen den gesuchten Angriffspunkt für die Mittelkraft KL.

Fig. 122.

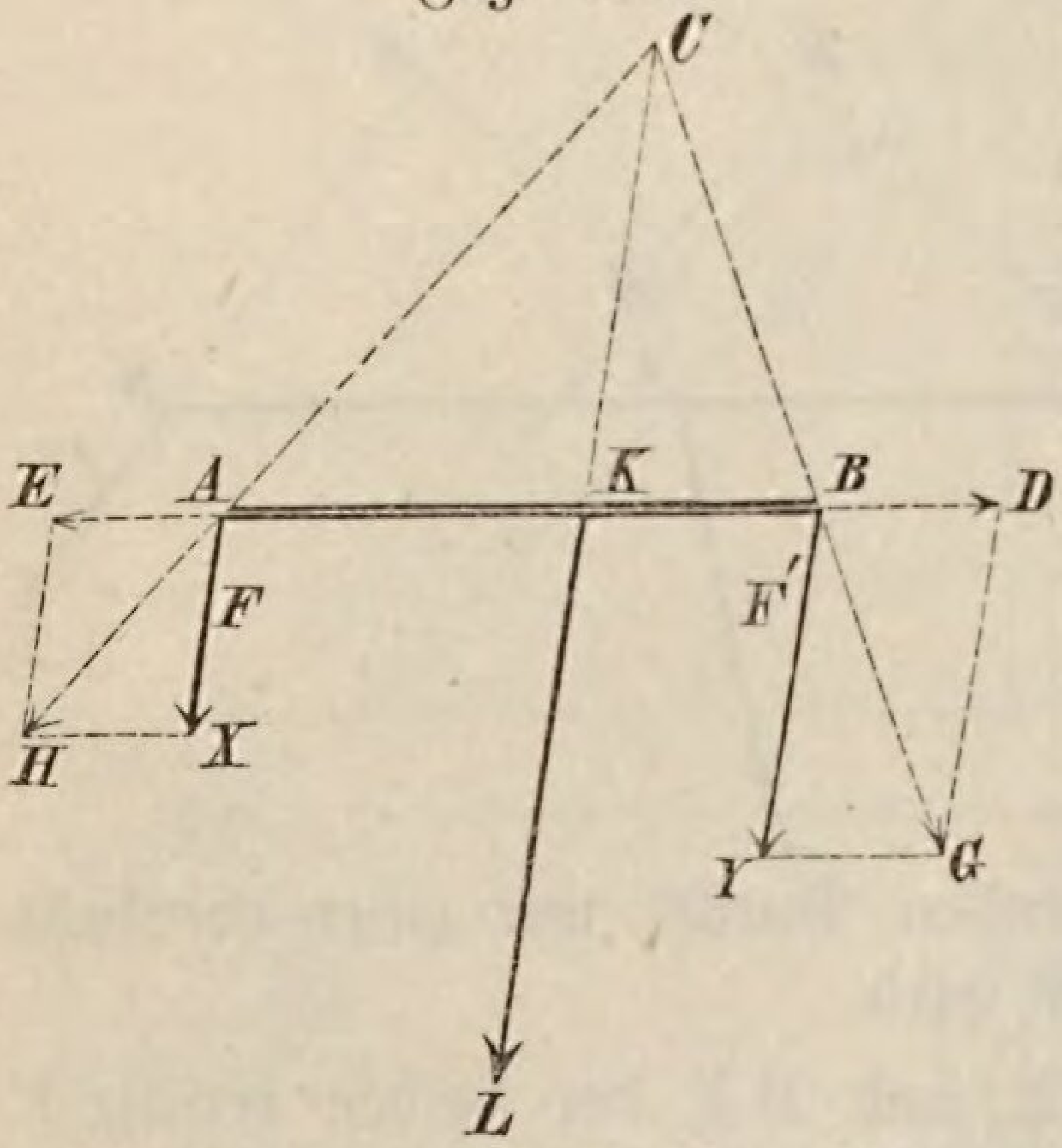
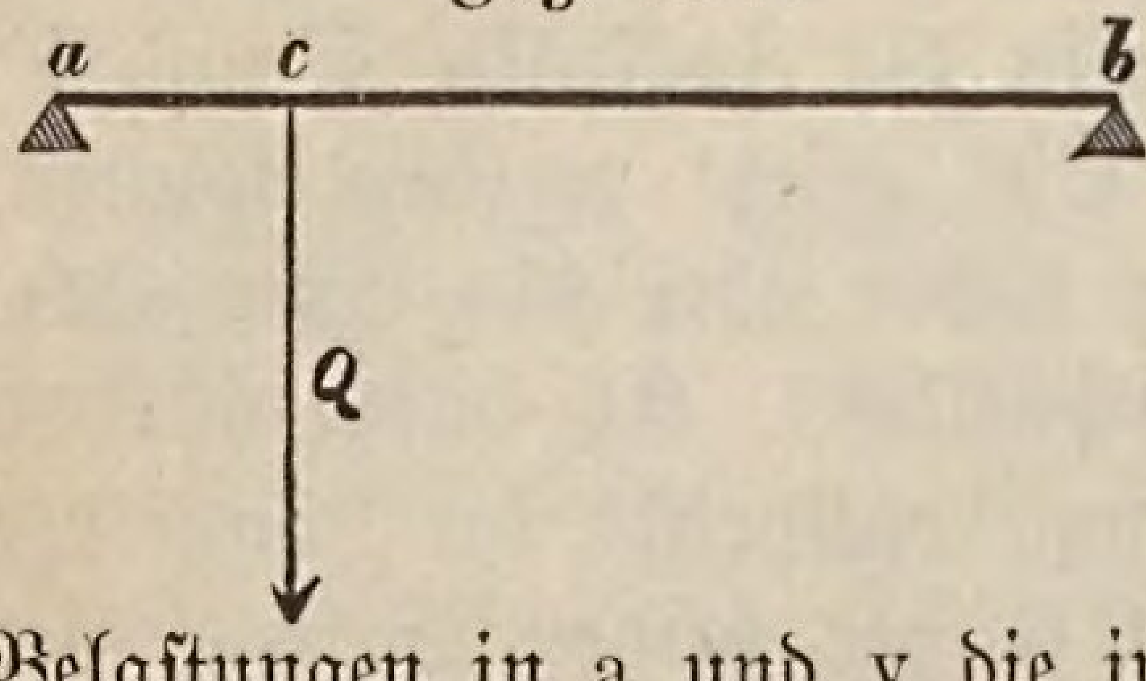


Fig. 123.



Aufgabe. Der auf den beiden Stützpunkten a und b ruhende Balken, Fig. 123, ist an dem Punkte c durch ein Gewicht Q belastet; es soll angegeben werden, in welcher Weise das Gewicht Q durch den Balken auf seine beiden Stützpunkte übertragen wird.

Auflösung. Bezeichnet x die gesuchten Belastungen in a und y die in b, so verhält sich nach dem Vorigen

$$ac : cb = y : x,$$

also auch

$$(ac + cb) : cb = (y + x) : x,$$

das ist, weil $y + x = Q$ und $ac + cb = ab$ sind,

$$ab : cb = Q : x.$$

Hieraus folgt:

$$x = Q \frac{cb}{ab}.$$

Es ist ferner

$$y = Q - x$$
$$= Q - Q \frac{cb}{ab}$$
$$= Q \left(1 - \frac{cb}{ab}\right)$$
$$= Q \left(\frac{ab - cb}{ab}\right)$$
$$= Q \frac{ac}{ab}.$$

Ist z. B. $Q = 1000$ kg, $ac = 3$ m und $cb = 7$ m, also $ab = 10$ m, so ergiebt sich der Druck x auf den Stützpunkt a zu

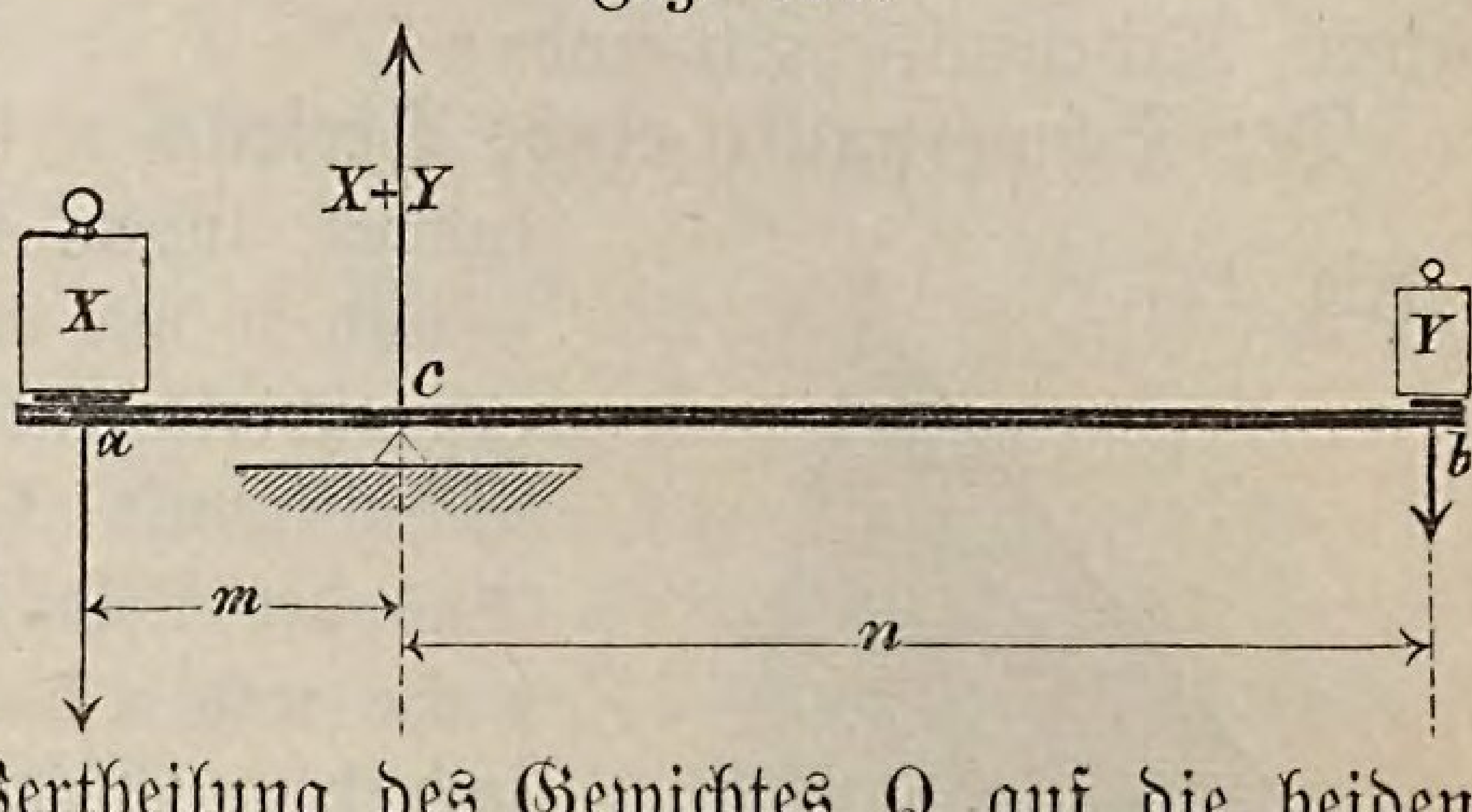
$$x = Q \frac{cb}{ab} = 1000 \frac{7}{10} = 700 \text{ kg},$$

und der Druck auf den Stützpunkt b zu

$$y = Q \frac{ac}{ab} = 1000 \frac{3}{10} = 300 \text{ kg}.$$

Der Schwerpunkt. Verschiebt man einen Balken auf einer schmalen Unterlage (Schneide) so lange, bis sich seine nach beiden Seiten über die Stütze hinausragenden Enden das Gleichgewicht halten, bis also der Balken nicht mehr umkippt, so ist der Balken in seinem Schwerpunkte unterstützt. Die Bedingungen unter welchen das Gleichgewicht stattfindet, also auch die Bedingungen für die Aufsuchung des Schwerpunktes ergeben sich aus der vorigen Aufgabe.

Fig. 124.



Werden in Fig. 123 die Auflagerdrücke x und y auf die Stützpunkte a und b durch gleiche Gewichte ersetzt, und wird der Balken in dem Punkte c unterstützt, Fig. 124, so befindet er sich offenbar im Gleichgewichte, weil bei der berechneten Vertheilung des Gewichtes Q auf die beiden Stützen a und b die Resultirende der beiden Auflagerpressungen gleich Q ist und in c angreift.

Die Bedingung für das Gleichgewicht war das Zutreffen der Beziehung $x : y = cb : ca$.

Für $ca = m$ und $cb = n$ geht dieser Ausdruck in

$$x : y = n : m$$

über, aus welchem

$$x . m = y . n$$

folgt.

Das Gleichgewicht des Balkens wird offenbar nicht gestört, wenn er, außer durch die beiden Gewichte x und y, noch durch weitere Gewichte x_1 und y_1, x_2 und y_2, x_3 und y_3 u. s. w. beschwert wird, sobald nur die Bedingung zutrifft, daß das Produkt aus den linkswirkenden Gewichten mal ihren Entfernungen bis zu dem Drehpunkte c dem Producte der rechtswirkenden Gewichte mal ihren Entfernungen bis zu dem Drehpunkte c gleich ist.

Die Producte x . m und y . n werden die Momente der Gewichte genannt. Für den Schwerpunkt eines Körpers fallen die Summen der links und rechts von ihm wirkenden Momente gleich aus.

Der Schwerpunkt einer überall gleich schweren und geraden Stange A B, Fig. 125, liegt in ihrer Mitte C.

Fig. 125.

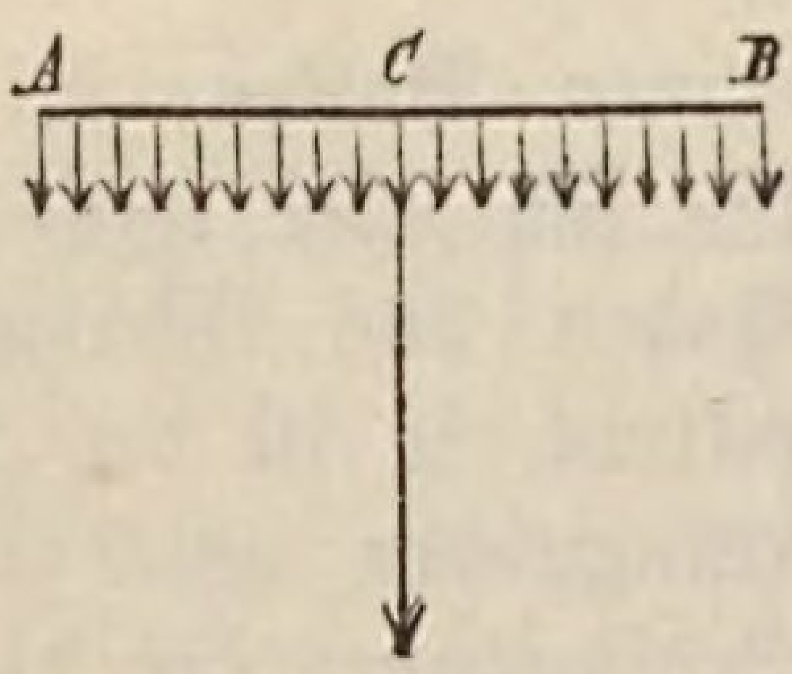
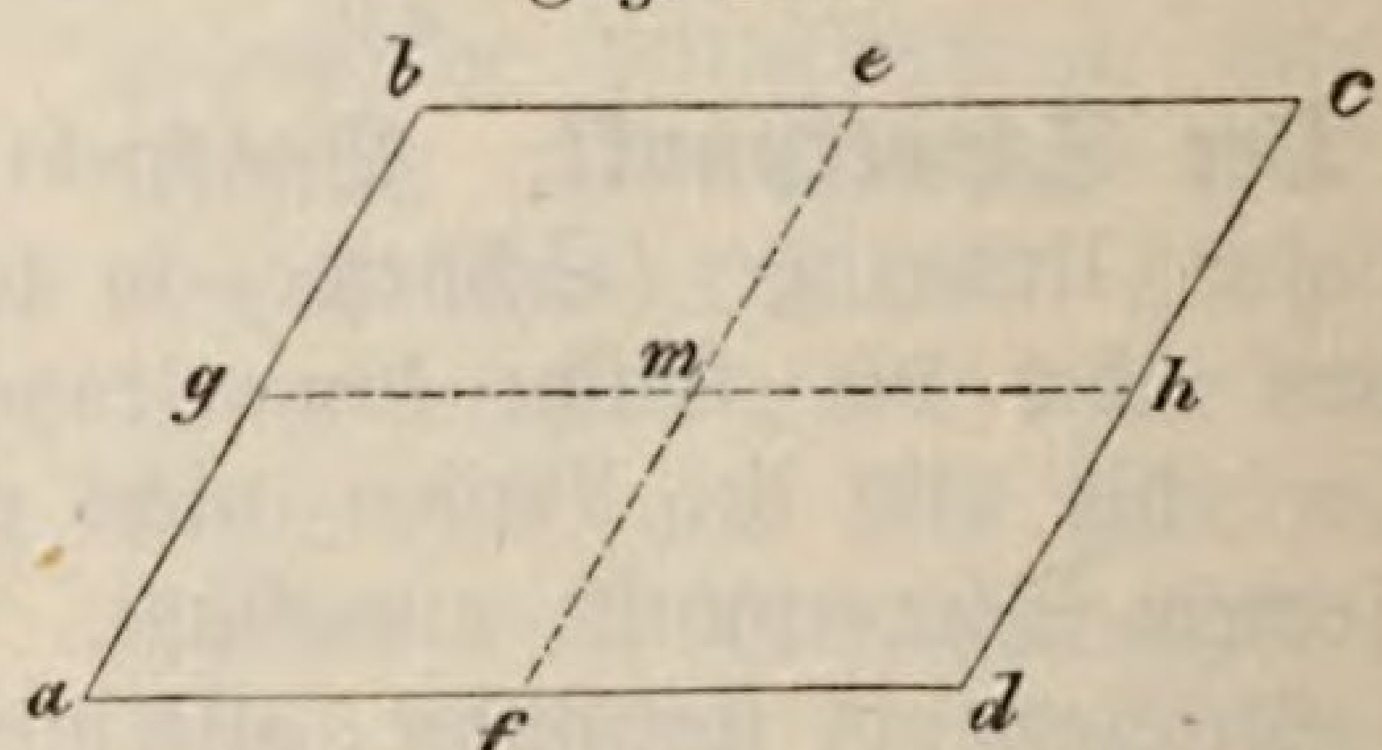


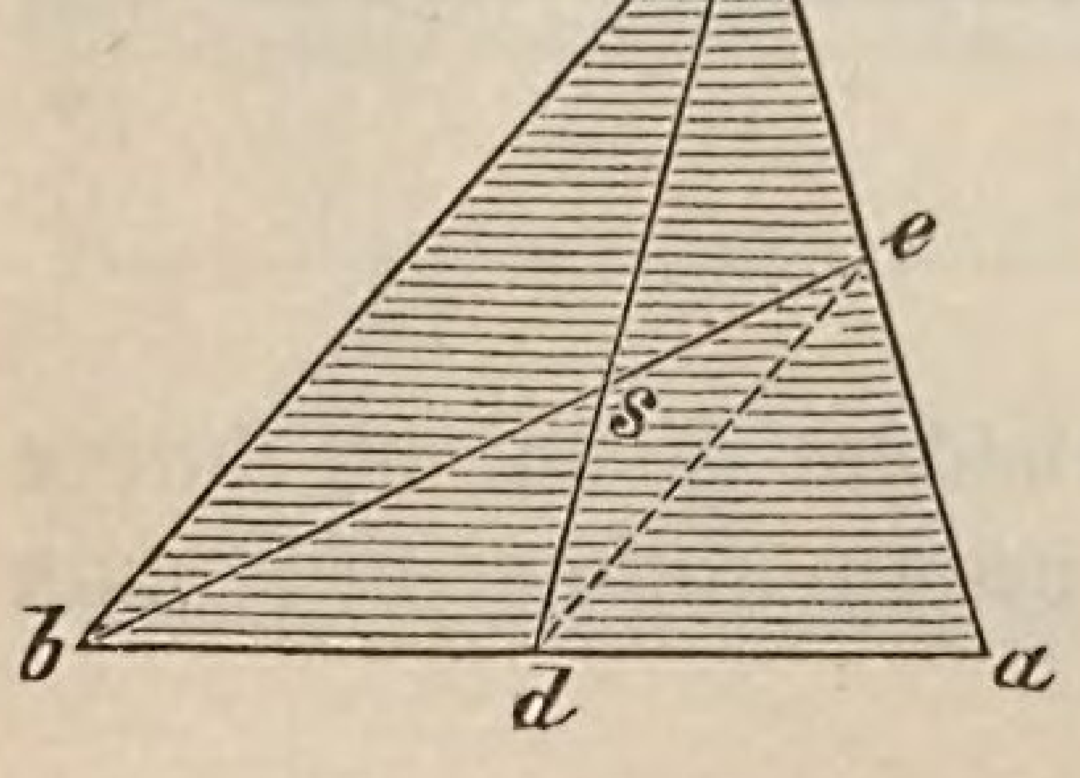
Fig. 126.



Der Schwerpunkt eines überall gleich schweren Parallelogramms a b c d, Fig. 126, liegt in dem Schnittpunkte m der beiden Mittellinien g h und e f.

Der Schwerpunkt eines Dreiecks a b c, Fig. 127, wird gefunden, indem man zwei beliebige Ecken c und b mit den Mitten d und e der gegenüberliegenden Seiten verbindet, der Schnittpunkt s ist der Schwerpunkt. Aus der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke a d e und a b c und der Dreiecke d e s und b s c ist zu beweisen, daß

Fig. 127.

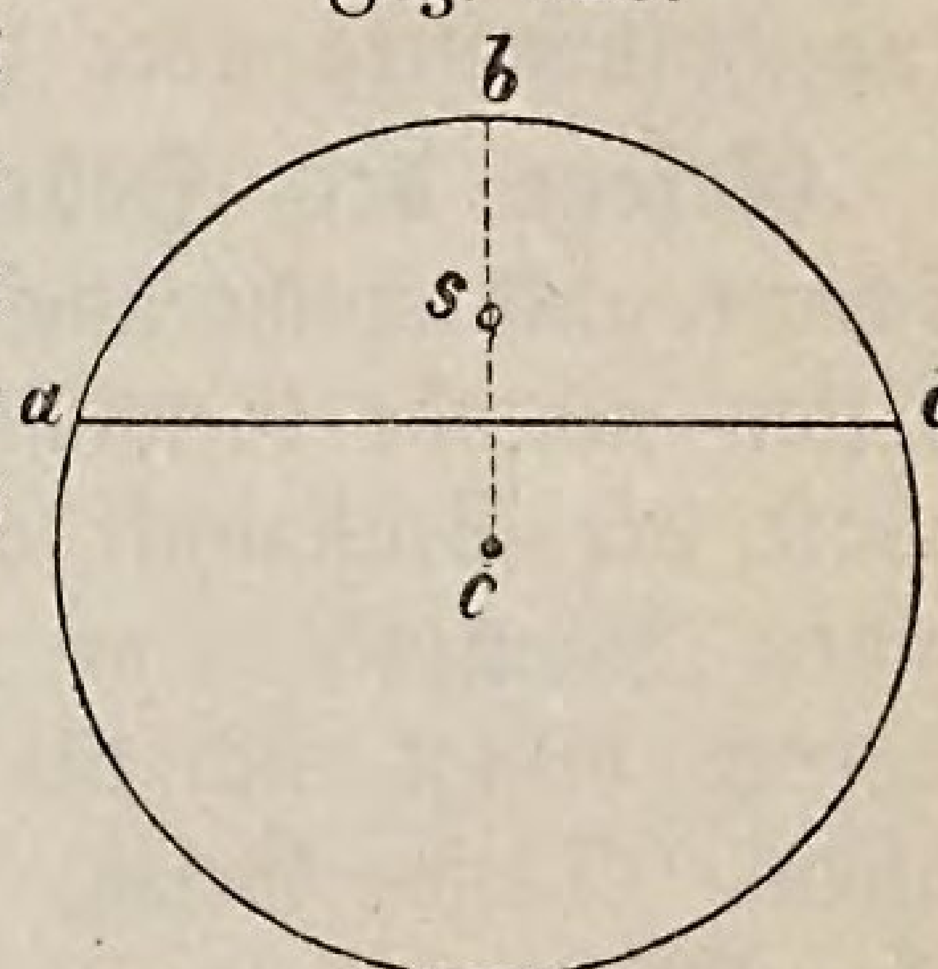


$$ds = \frac{dc}{3} \text{ und } es = \frac{eb}{3},$$

daß also der Schwerpunkt eines Dreiecks sich in dem Dritttheile des Abstandes der Seiten von den gegenüber liegenden Spitzen befindet.

Schwerpunkt eines Kreisbogens. Ist in Fig. 128 die Linie a b d ein Kreisbogen von der Länge b und werden die Länge der Sehne a d mit l und der Halbmesser des Kreises mit r bezeichnet, so ist, wenn die Linie c b die Sehne a d rechtwinklig durchschneidet, die Entfernung des Schwerpunktes s des Kreisbogens von dem Mittelpunkte c des Kreises gleich

Fig. 128.



$$\frac{r\,l}{b}.$$

Geht die Linie a d durch die Mitte des Kreises, so wird $b = \pi \,.\, r$ und $l = 2\,r$, der Abstand des Schwerpunktes eines Halbkreisbogens von dem Mittelpunkte des Kreises beträgt demnach

$$\frac{r\,.\,2r}{\pi\,.\,r} = \frac{2r}{3{,}1415} = 0{,}6366\ r.$$

Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnungen und wenn überdies die Fläche a b d a mit S bezeichnet wird, beträgt die Entfernung des Schwerpunktes s des Kreisabschnittes S vom Mittelpunkte des Kreises $^1/_{12}\frac{l^3}{S}$.

Für den Schwerpunkt der Halbkreisfläche geht dieser Ausdruck in 0,4244 r über.

Der Schwerpunkt einer vielseitigen Figur wird gefunden, indem man die Figur in Dreiecke zerlegt und die Schwerpunkte dieser einzelnen Dreiecke ermittelt. Werden die Schwerpunkte durch Kräfte ersetzt, deren Stärken den Flächengrößen der Dreiecke proportional sind, so können je zwei und zwei dieser parallel wirkenden Kräfte leicht in bereits angegebener Weise zu einer einzigen Mittelkraft so oft vereinigt werden, bis schließlich nur noch eine Kraft übrig bleibt, deren Richtung durch den Schwerpunkt der ganzen Figur geht. Um eine zweite durch den Schwerpunkt der Figur gehende Linie zu finden, wird die Figur vor der Vereinigung der einzelnen Kräfte zu einer Mittelkraft um 90 Grad gedreht.

Schwerpunkte einiger Körper. Der Schwerpunkt eines Prismas oder Cylinders mit parallelen Grundflächen liegt in der Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte der Grundflächen verbindet.

Der Schwerpunkt einer Pyramide liegt in der Linie, welche den Schwerpunkt der Grundfläche mit der Spitze der Pyramide verbindet.

Das Stück dieser Linie von der Grundfläche bis zu dem Schwerpunkte der Pyramide beträgt $^1/_4$, und das folgende Stück bis zur Spitze $^3/_4$ ihrer Länge.

Für eine Halbkugel liegt der Schwerpunkt um $^3/_8$ des Kugelhalbmessers über der Grundfläche.

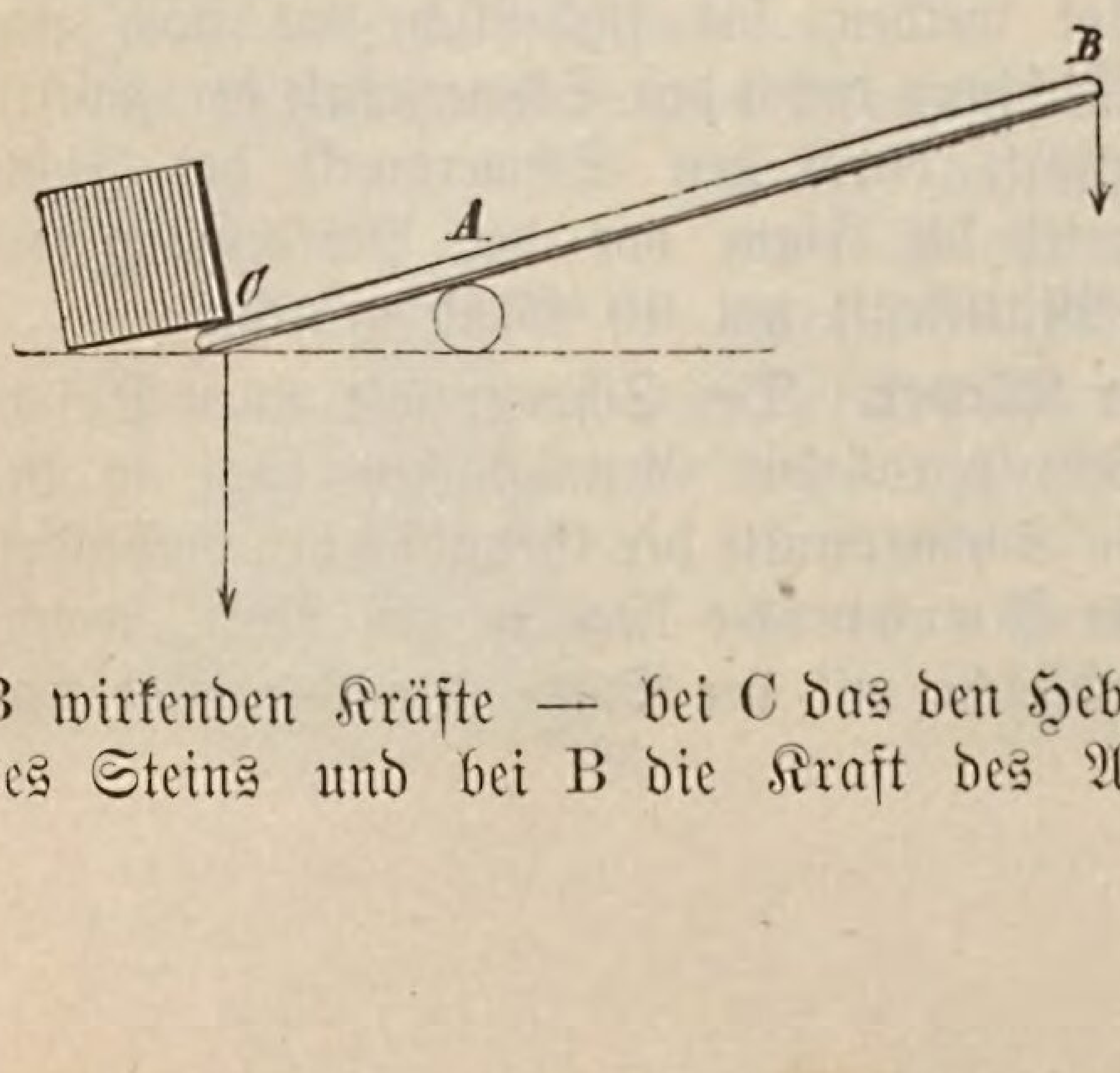
Gesetze des Hebels. Es ist bei der Abhandlung über den Schwerpunkt nachgewiesen, daß (vergl. Fig. 124) zwei auf einem Balken ruhende Gewichte x und y einander das Gleichgewicht halten, sobald der Stützpunkt c des Balkens eine solche Lage hat, daß die beiden Momente x m und y n gleich ausfallen, oder wenn, was dasselbe besagt, sich die Gewichte umgekehrt wie die Hebelarme verhalten. Dieses Gesetz, „das Hebelgesetz," ist von außerordentlicher Wichtigkeit, weil seine Anwendung auf Maschinen die Hebung bedeutender Lasten mit geringen Kraftanstrengungen gestattet, sobald nur die Hebel, an welchen Kraft und Last wirken, in entsprechendem Verhältniß zu einander stehen.

Es sind doppelarmige und einarmige Hebel zu unterscheiden; bei den ersteren liegt der Drehpunkt des Hebels zwischen den Angriffspunkten der Last und der Kraft, und bei letzteren außerhalb derselben. In beiden Fällen sind die Längen der Hebelarme gleich den Abständen der Angriffspunkte der Kraft und der Last von dem Punkte, um welchen die Drehung des Hebels erfolgt.

Die Figuren 129 und 130 stellen je ein Beispiel für die Anwendung des doppelarmigen und des einarmigen Hebels dar.

Nach Fig. 129 dreht sich der Hebel C B, wenn der Stein bei C durch einen bei B ausgeübten Druck gehoben wird, um den Punkt A, welcher zwischen dem Angriffspunkte B der Kraft und dem Angriffspunkte C der Last liegt; wir haben also einen doppelarmigen Hebel vor uns.

Fig. 129.



Haben die Hebelarme C A und A B je eine Länge von m und n Metern, und werden die bei C und B wirkenden Kräfte — bei C das den Hebel niederdrückende Gewicht des Steins und bei B die Kraft des Arbeiters, mit welcher er

den Stein zu heben sucht — mit B und C bezeichnet, so ist für den Zustand des Gleichgewichtes

$$C \cdot m = B \cdot n \text{ oder}$$

$$C = \frac{n}{m} \cdot B.$$

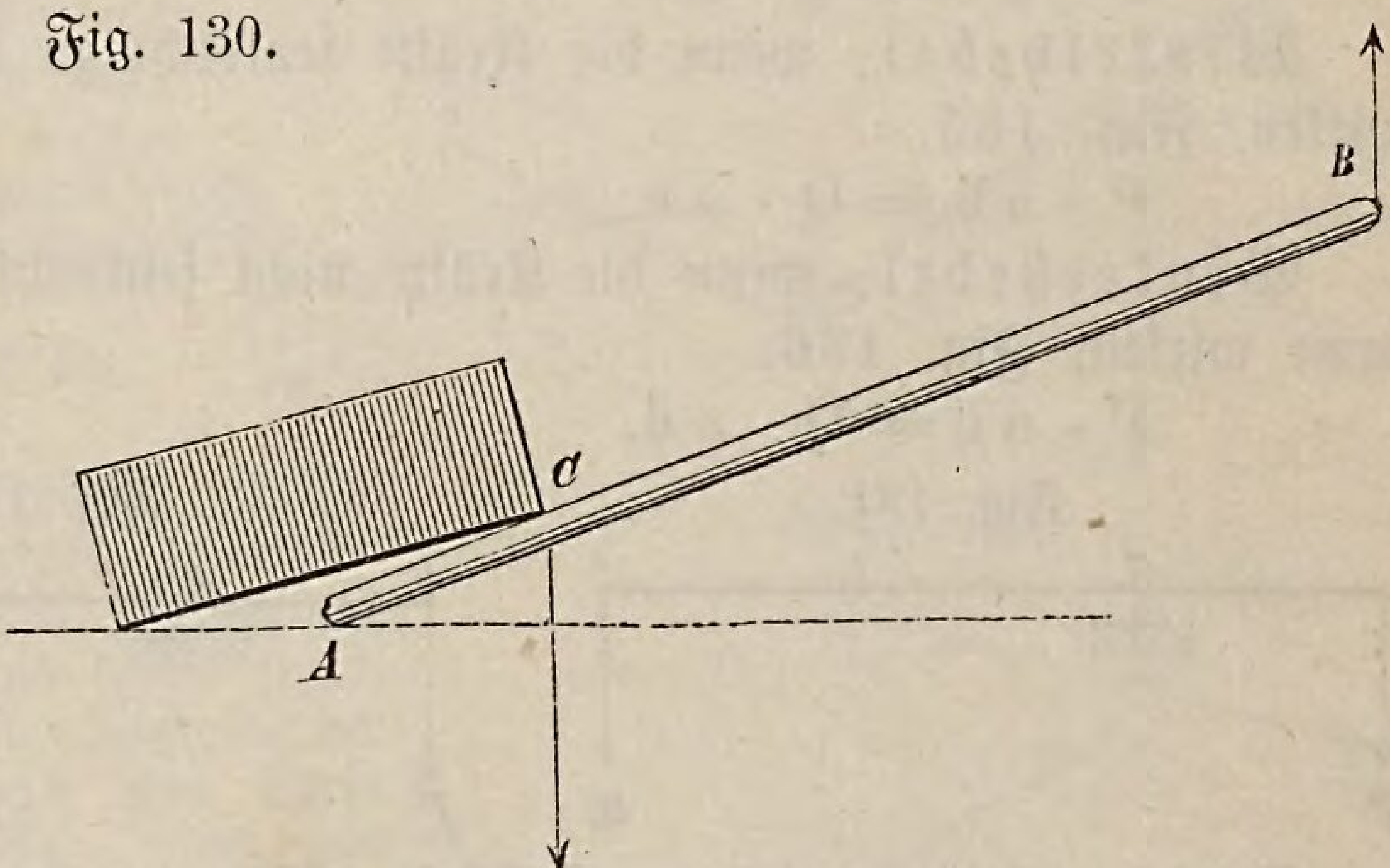
Ist beispielsweise der Druck des Arbeiters bei B gleich 40 kg und A B gleich 3 Meter, A C gleich 1 Meter, so wird

$$C = 40 \cdot \frac{3}{1} = 120 \text{ kg};$$

die Kraft des Arbeiters wird durch den Hebel verdreifacht.

Der Hebel AB der Fig. 130 ist ein einarmiger Hebel, da sein Drehpunkt A außerhalb der Angriffspunkte C für den zu hebenden Stein und B für den Arbeiter liegt.

Fig. 130.



Die in die Rechnung einzuführenden Hebelarme sind die Abstände der Punkte C und B von dem Drehpunkte A des Hebels, es muß also für das Gleichgewicht die Beziehung

$$Cm = B(m + n) \text{ oder}$$

$$C = B\left(\frac{m + n}{m}\right)$$

stattfinden, wenn wieder die Längen CA und BC mit m und n bezeichnet werden. Für B gleich 40 kg, m gleich 1 m und n gleich 3 m ist

$$C = 40 \cdot \frac{1 + 3}{1} = 160 \text{ kg}.$$

Die Wirkung an dem einarmigen Hebel ist also größer, als bei Benutzung desselben Hebels als doppelarmigen Hebel.

Hat man es mit mehr als zwei Kräften zu thun oder wirken die Kräfte nicht nach gleichen Richtungen hin, so halten sie sich das Gleichgewicht, wenn die Momente der Kräfte, welche auf eine Drehung nach rechts hinwirken, zusammengenommen eben so groß sind wie die

Summe der Momente, welche die entgegengesetzte Drehung zu bewirken suchen.

Die verschiedenen Arten, in welchen der Hebel zur Anwendung gebracht wird, sowie die Bedingungen über das Gleichgewicht sind aus nachstehenden Figuren und Formeln zu erkennen.

Doppelarmiger Hebel, Fig. 131,

$$P \cdot ab = Q \cdot ac.$$

Doppelarmiger Hebel, Fig. 132,

$$P \cdot ab = R \cdot ad + Q \cdot ac.$$

Doppelarmiger Hebel, Fig. 133,

$$P \cdot ab + F \cdot af = R \cdot ad + Q \cdot ac + S \cdot ea.$$

Einarmiger Hebel, Fig. 134,

$$P \cdot bc = Q \cdot ab.$$

Winkelhebel, wenn die Kräfte senkrecht zu den Hebelarmen wirken, Fig. 135,

$$P \cdot ab = Q \cdot ac.$$

Winkelhebel, wenn die Kräfte nicht senkrecht auf die Hebelarme wirken, Fig. 136,

$$P \cdot ae = Q \cdot ad.$$

Fig. 131.

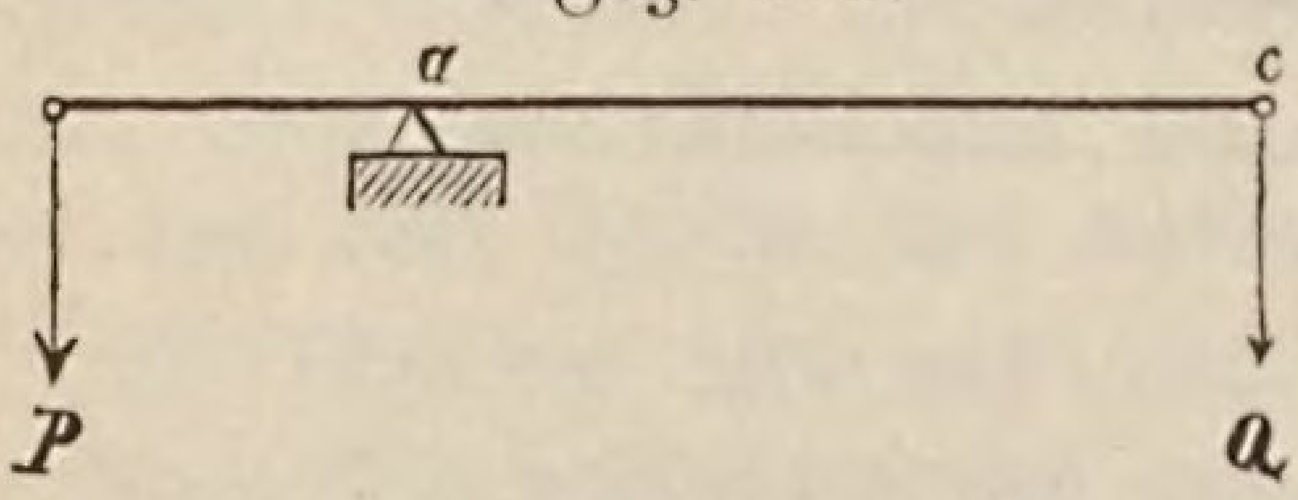
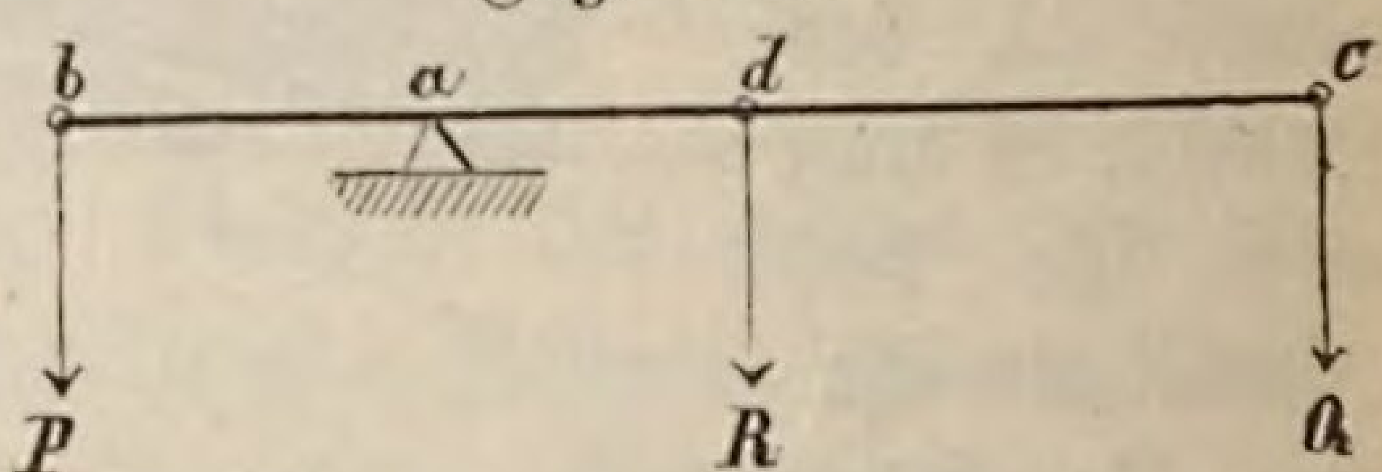
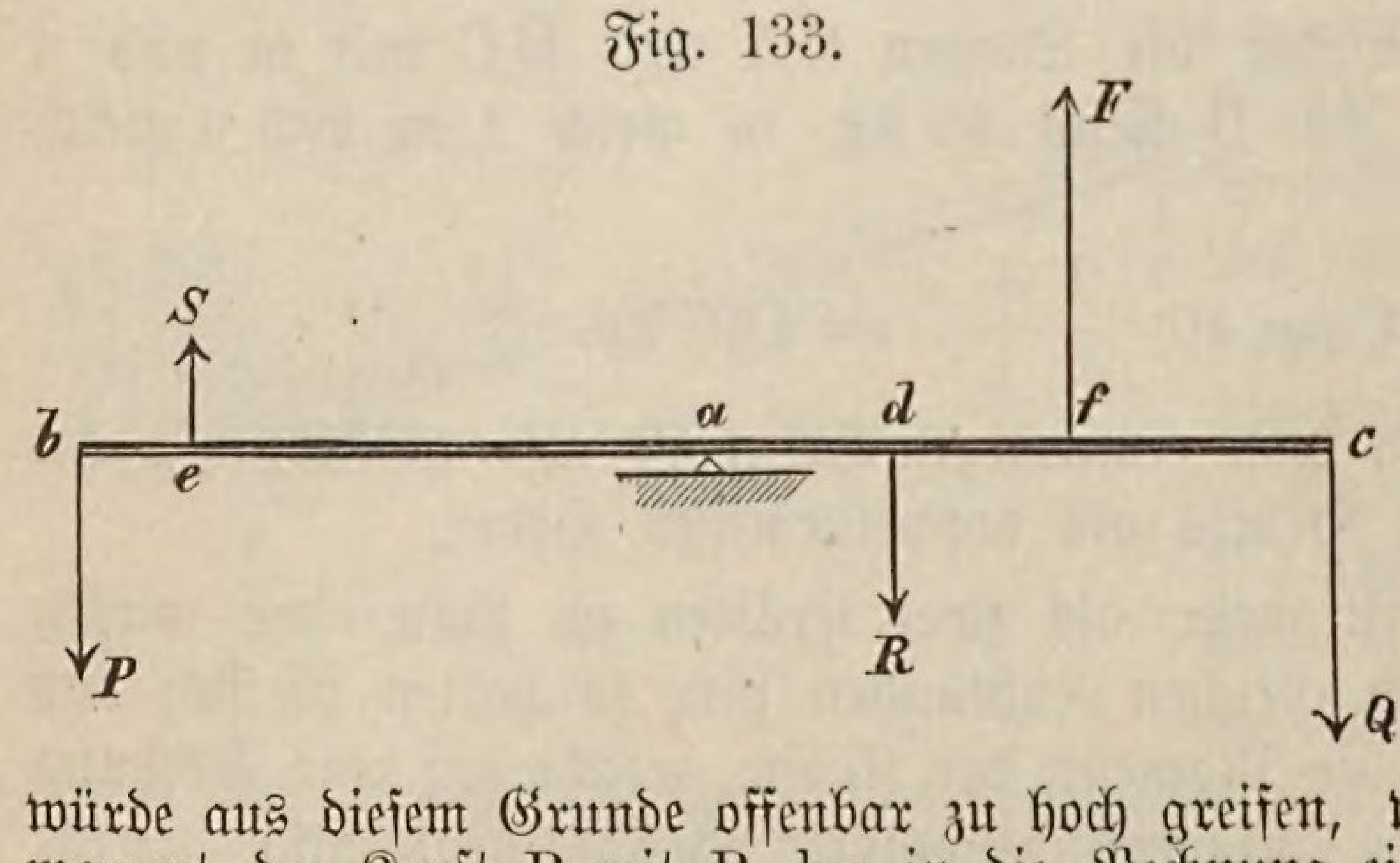


Fig. 132.



Bei dem zuletzt angeführten Hebel der Fig. 136 sind nicht die Hebelarme ab und ac, an welchen die Kräfte P und Q wirken, sondern die senkrechten Abstände ae und ad der beiden Kraftrichtungen Pb und Qcd in Rechnung gesetzt. Dieses Verfahren bedarf noch einer näheren Erläuterung.

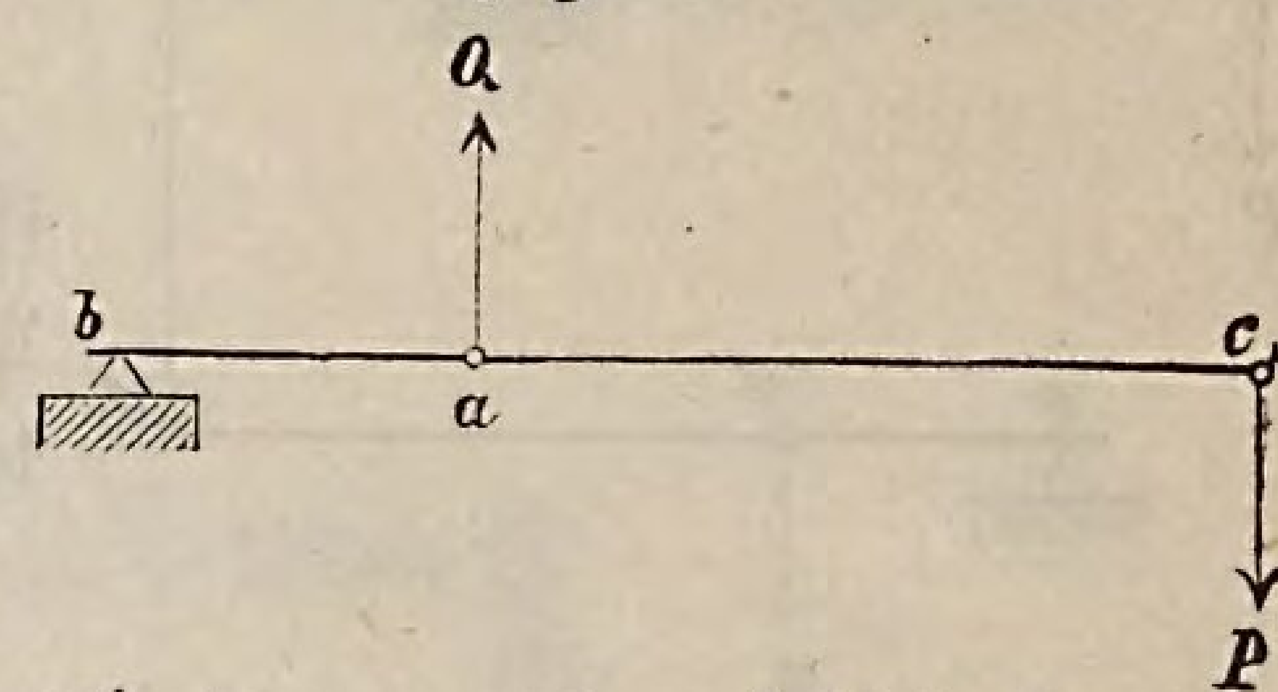
Fig. 133.



Wirken auf den doppelarmigen Hebel bc (Fig. 137) die beiden Kräfte P und Q nach den angegebenen Richtungen, so ist klar, daß z. B. die Kraft P an dem Hebelende ba minder stark zur Wirkung kömmt, als wenn der Winkel Pba weniger stumpf wäre. Man würde aus diesem Grunde offenbar zu hoch greifen, wenn man das Drehmoment der Kraft P mit P . ba in die Rechnung einführen wollte. Um

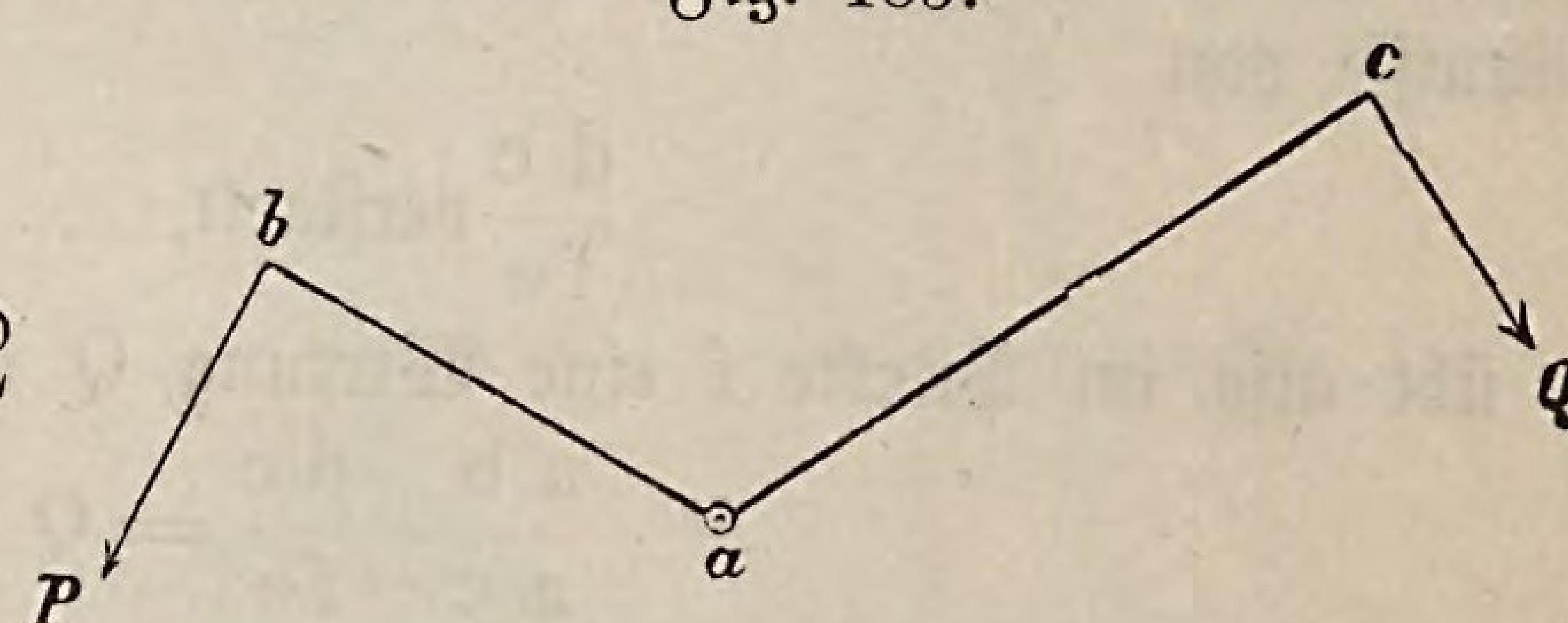
aus der Kraft P die Kraft P′ zu ermitteln, welche an dem Hebelarme b a die gleiche Drehwirkung ausübt wie P, braucht man nur P in die beiden Seitenkräfte P′ und P″ zu zerlegen, von welchen P′ senkrecht auf dem Hebel steht und P″ die Verlängerung desselben bildet. Die letzte Kraft übt offenbar gar keine Drehwirkung aus, sie darf also hier unberücksichtigt bleiben.

Fig. 134.



Statt durch Zerlegung der Kraft P in die beiden Seitenkräfte P′ und P″ das wahre Drehmoment P′b a zu ermitteln, kommt man auf einfacherem Wege zu letzterem, indem man die Kraftrichtung P b über b hinaus verlängert und von a aus auf diese Verlängerung das Loth a g zieht. Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke b g a und b e P′ findet die Proportion

Fig. 135.



e b : P′b = b a : a g

statt, aus welcher sich

e b . a g = P′b . b a,

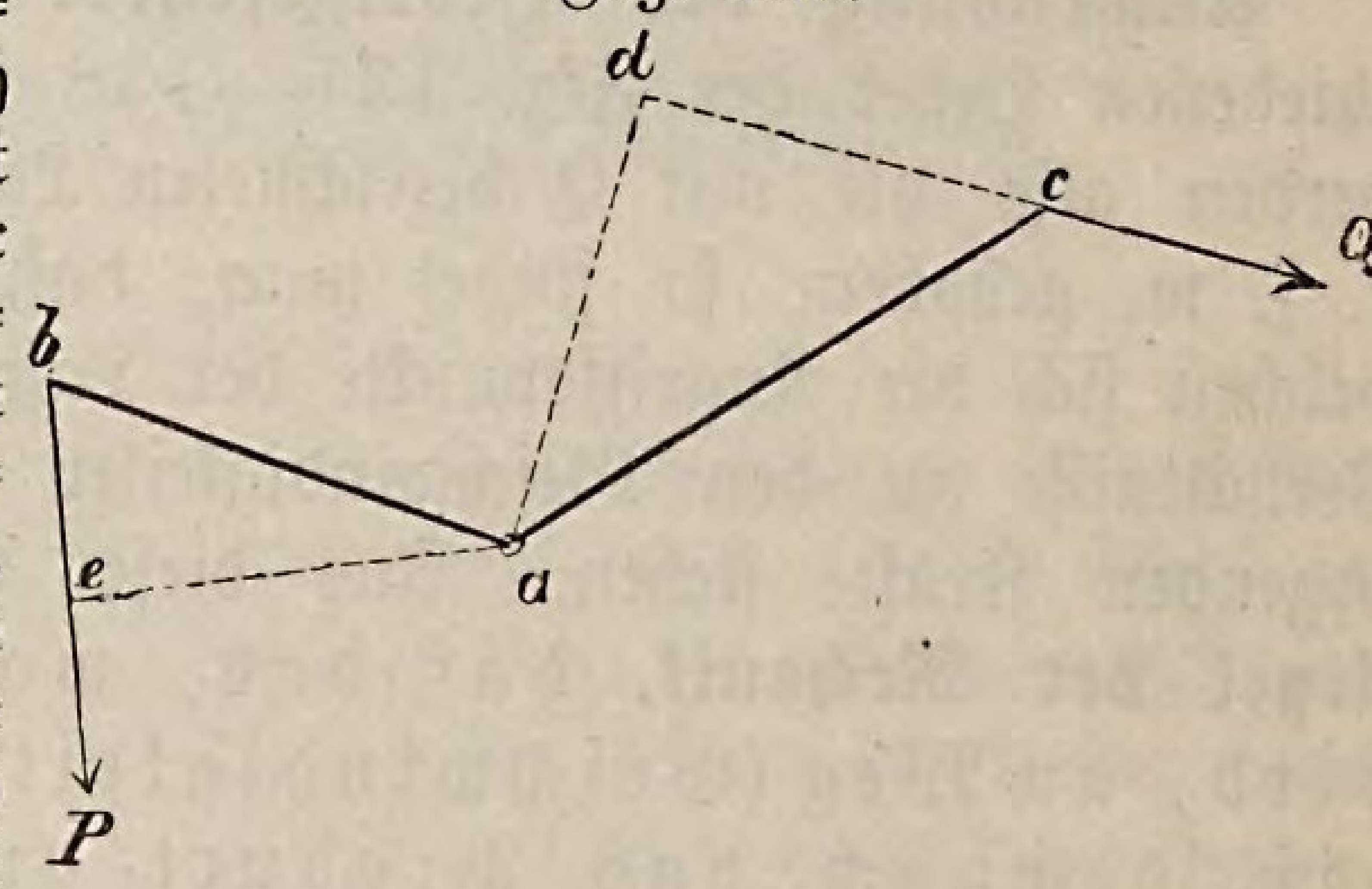
oder, da die Längen e b und P′b den Kräften P und P′ entsprechen,

P . a g = P′b a

ergiebt.

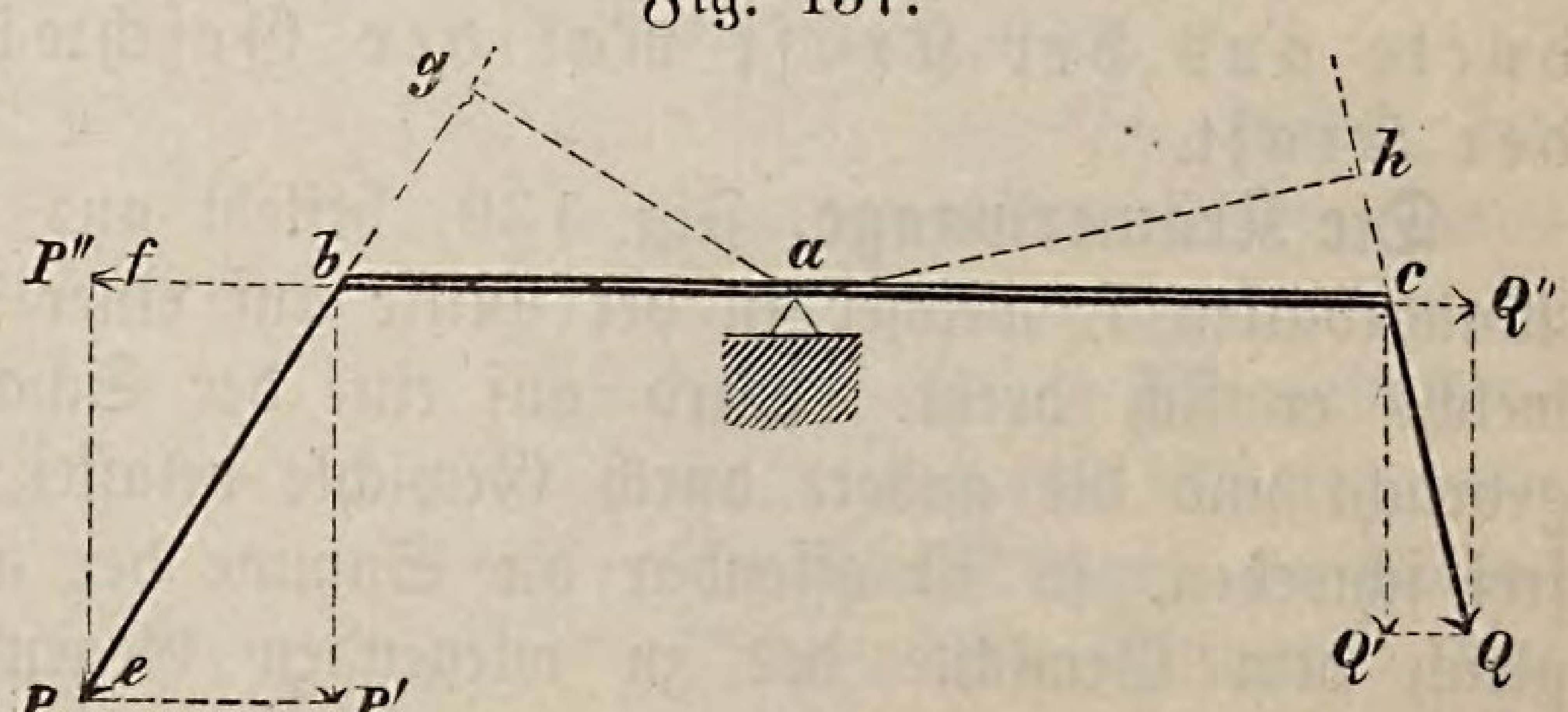
Das Drehmoment, welches eine schräg auf einen Hebel wirkende Kraft ausübt, ist demnach dem Producte aus dieser Kraft mal dem senkrechten Abstande der Kraftrichtung von dem Drehpunkte des Hebels — dem von dem Drehpunkte auf die Kraftrichtung gefällten Lothe — gleich.

Fig. 136.



Das Moment der anderen Kraft Q in unserem Beispiele ergiebt sich in gleicher Weise durch Zerlegung dieser Kraft Q in die beiden Seitenkräfte Q′ und Q″ zu Q′. a c oder zu Q . a h, wenn wieder a h senkrecht auf der nach rückwärts verlängerten Kraftrichtung c Q steht.

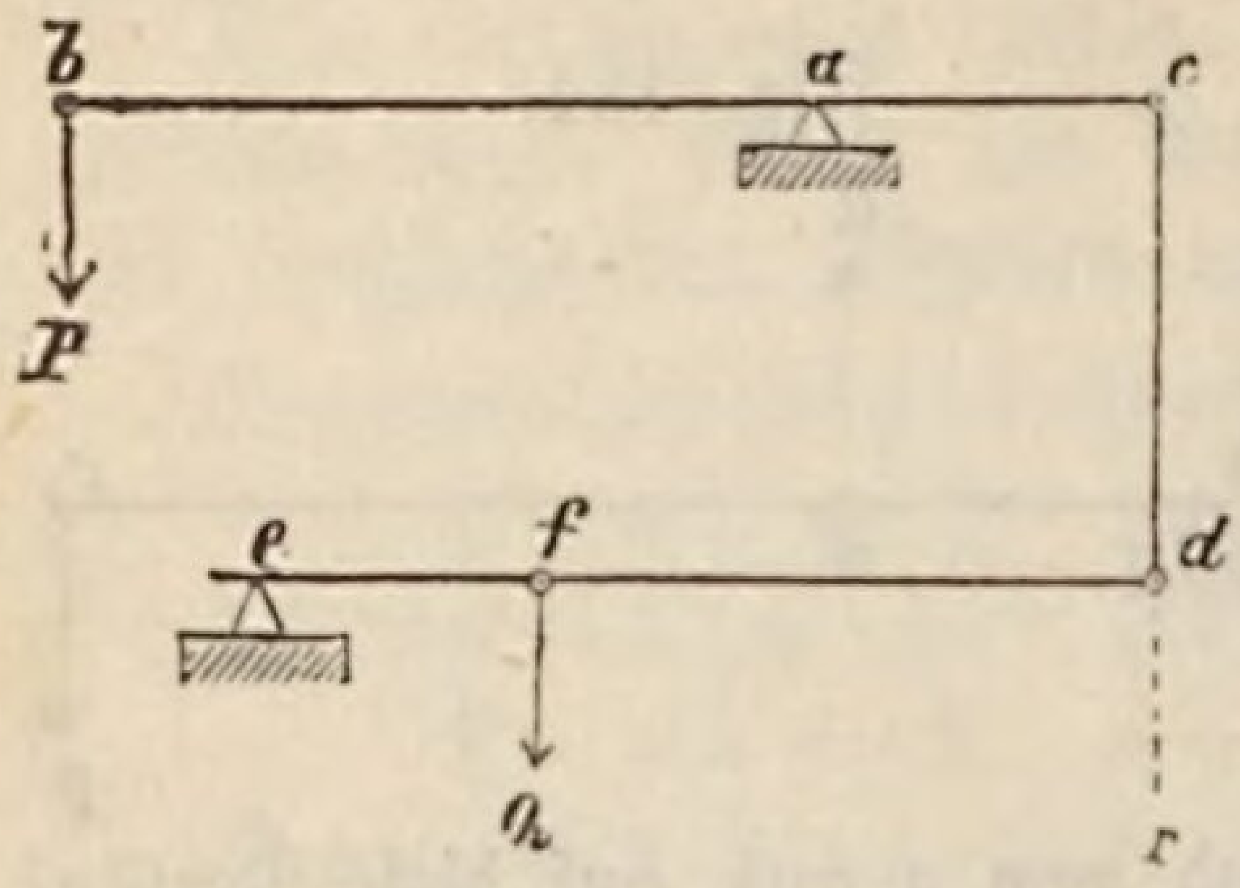
Fig. 137.



Zusammengesetzter Hebel, Fig. 138. Die beiden Kräfte Q und P

halten sich bei nebenstehender Verbindung des doppelarmigen Hebels

Fig. 138.



b c und des einarmigen Hebels e d das Gleichgewicht, wenn

$$P = \frac{a c \cdot e f}{a b \cdot e d} \cdot Q$$

ist. Denn die Kraft P übt an dem Punkte c einen nach oben hin gerichteten Zug aus, welcher sich zu

$$P \cdot \frac{a b}{a c}$$

ergiebt. Dieser, durch die Stange oder Kette c d auf den unteren Hebel d e übertragene Zug wird durch diesen nochmals in dem Verhältnisse von

$$\frac{d e}{f e} \text{ verstärkt,}$$

er übt also im Punkte f eine Wirkung Q aus, welche sich zu

$$P \cdot \frac{a b}{a c} \cdot \frac{d e}{f e} = Q$$

berechnet. Die beiden Formeln für P und Q sind identisch.

Anwendung des Hebelgesetzes. Denkt man sich die verschiedenen Hebel der Fig. 131—138 im Zustande der Bewegung, werden also die mit Q bezeichneten Lasten durch die Kräfte P, R u. s. w. gehoben, so findet man, daß die Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Angriffspunkte der Lasten bewegen, in umgekehrtem Verhältnisse zu den Geschwindigkeiten der Angriffspunkte der bewegenden Kräfte stehen. Aus dieser Beziehung folgt **die goldene Regel der Mechanik,** daß das, was an Kraft gewonnen wird, an Weg (Geschwindigkeit) wieder verloren geht; daß demnach das Product aus dem Gewichte mal der Geschwindigkeit (Weg) der Last gleich ist dem Producte aus der Kraft mal der Geschwindigkeit (Weg) der Kraft.

Die Krämerwaage, Fig. 139, besteht aus einem gleicharmigen Waagebalken f, welcher in der Mitte auf einer Schneide ruht, um welche er sich dreht. Wird auf eine der Schalen ein Gegenstand gebracht und die andere durch Gewichte belastet, bis beide Schalen frei schweben, so ist offenbar die Summe der aufgelegten Gewichte gleich dem Gewichte des zu wiegenden Gegenstandes. Um eine solche Waage praktisch brauchbar zu machen, ist noch eine Bedingung

bezüglich der Anbringung der Schneide zu erfüllen, auf welcher der Waagebalken ruht. Wollte man nämlich den Stützpunkt des Waagebalkens und die Aufhängepunkte für die Schalen in die gerade Linie verlegen, welche durch den Schwerpunkt des Waagebalkens geht, so

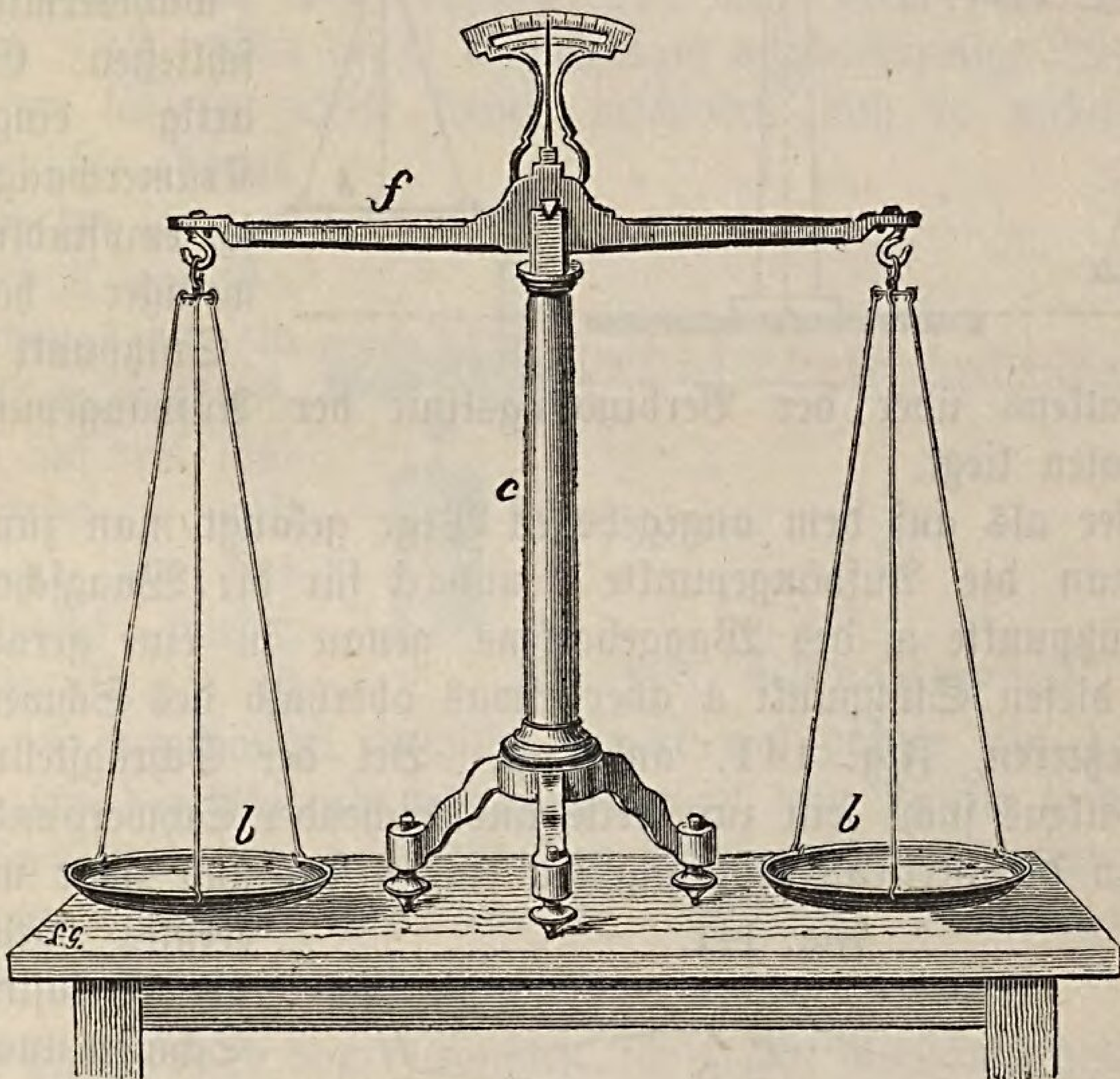


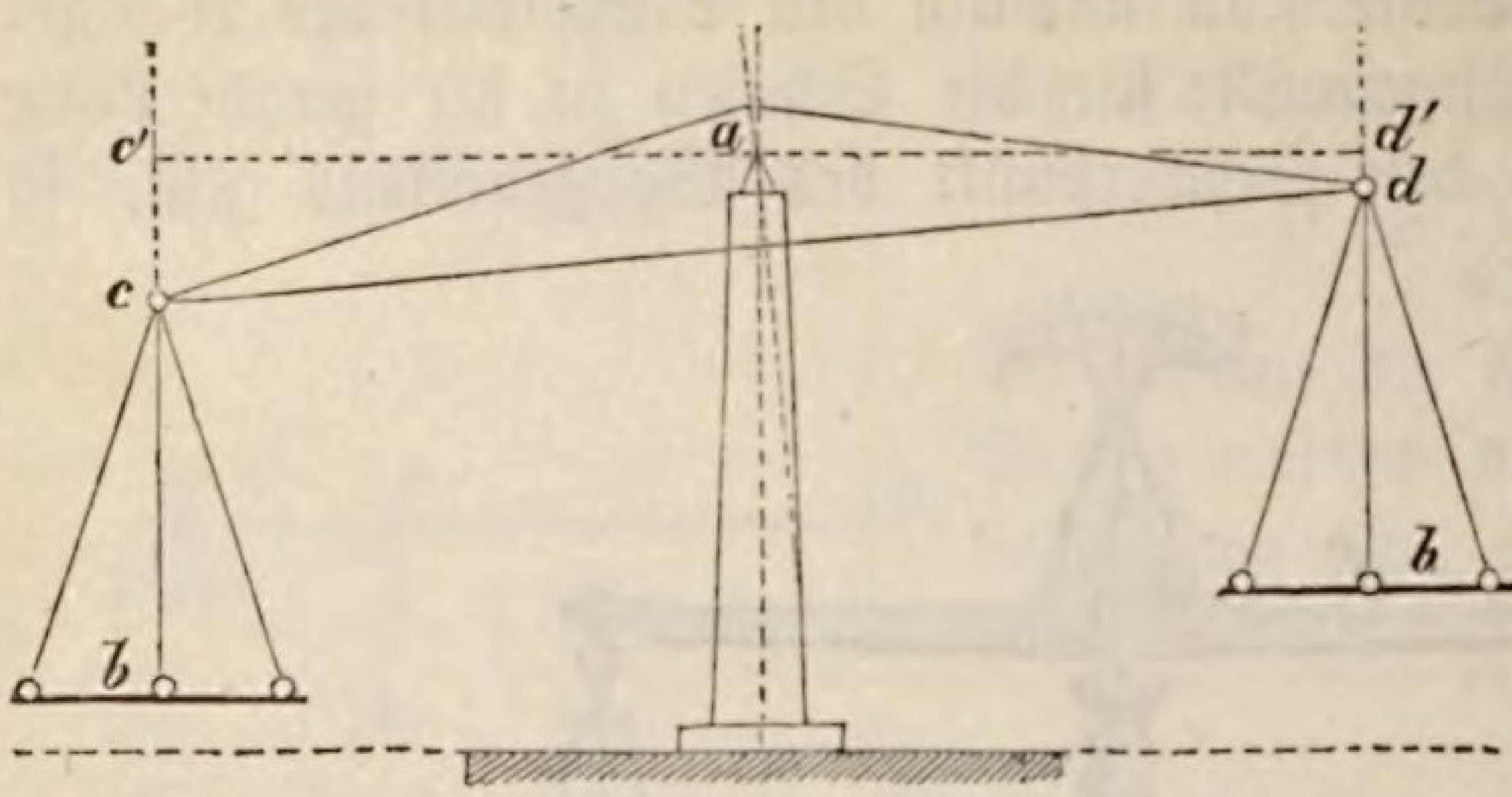
Fig. 139. Krämerwaage.

würde die geringste Verschiedenheit in der Belastung der beiden Schalen das freie Spielen der Waage ausschließen. Das Abwiegen eines Gegenstandes auf einer solchen Waage könnte demnach nur unter Anwendung von sehr viel Mühe und Zeit, und ferner unter Mitbenutzung zahlreicher und theilweis sehr kleiner Gewichte erfolgen.

Derartige, fast absolut genaue Gewichtsbestimmungen sind aber in der Praxis viel zu zeitraubend und meist unnöthig.

Der Uebelstand kann in einfachster Weise gehoben werden, indem man den Drehpunkt a des Waagebalkens (Fig. 140), etwas oberhalb der Verbindungslinie c d der beiden Aufhängepunkte für die Waagschalen b anbringt. Bei der Schrägstellung des Waagebalkens verkürzt sich der Hebelarm c′ a für die tiefer hängende Schale, beide Schalen schweben daher frei, trotzdem ihre Belastungen verschieden sind. Je genauer die Belastungen der Schalen übereinstimmen, um so mehr stellt sich der Waagebalken in die horizontale Richtung ein,

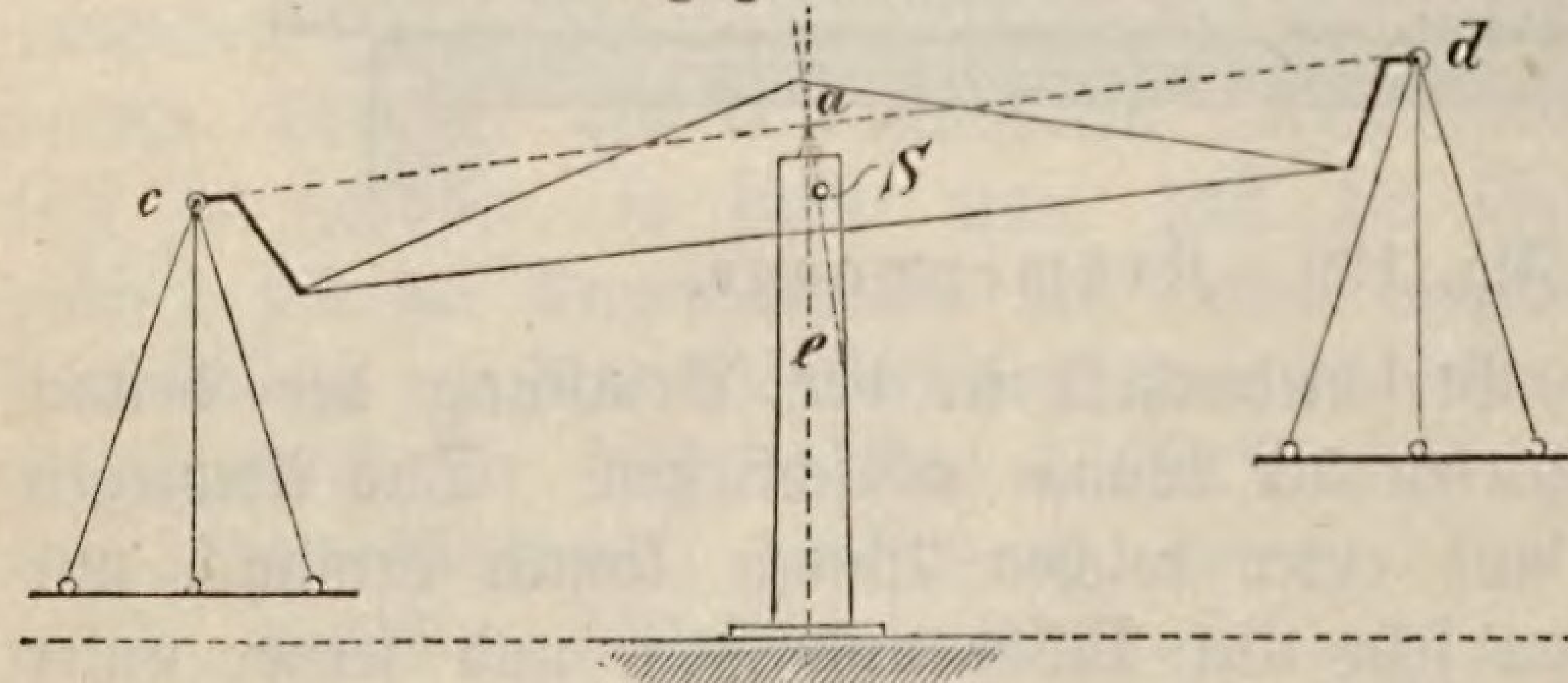
Fig. 140.



seine mehr oder minder geneigte Lage läßt demnach auf die Genauigkeit der Gewichtsermittelung schließen. Eine derartig eingerichtete Krämerwaage ist um so empfindlicher, je weniger hoch der Stützpunkt des Waagebalkens über der Verbindungslinie der Aufhängepunkte für die Schalen liegt.

Besser als auf dem angegebenen Wege gelangt man zum Ziele, wenn man die Aufhängepunkte c und d für die Waagschalen mit dem Stützpunkte a des Waagebalkens genau in eine gerade Linie verlegt, diesen Stützpunkt a aber etwas oberhalb des Schwerpunktes S des letzteren, Fig. 141, anbringt. Bei der Schrägstellung des Waagebalkens sucht sein zur Seite ausweichender Schwerpunkt S sich wieder in die verticale Richtung a e einzustellen und zwar mit einer

Fig. 141.



Kraft, welche von der Belastung der Schalen unabhängig ist. Während demnach bei der Anordnung nach Fig. 140 die Schrägstellung des Waagebalkens allein von dem Verhältnisse der zu wiegenden Last zu den aufgelegten Gewichten abhängt, entspricht bei der Anordnung nach Fig. 141 jede Schrägstellung des Waagebalkens einer bestimmten Differenz zwischen Gewicht und Last.

Um das Maß seiner Schrägstellung genau beurtheilen zu können ist auf dem Waagebalken ein mit diesem beweglicher Zeiger, und auf dem Ständer der Waage eine unbewegliche Skala angebracht.

Wenn bei einer unbelasteten Waage der Waagebalken nicht horizontal steht (also der Zeiger nicht „einschlägt") so ist die Waage „unrichtig". Man kann auch mit einer solchen das Gewicht eines Gegenstandes richtig bestimmen. Man legt diesen auf eine der Schalen — gleichgültig auf welche — und beschwert die andere (mit Steinen, Sand, Schrot o. dergl.),

bis der Balken horizontal steht, also der Zeiger „einschlägt"; an Stelle des zu wägenden Gegenstandes legt man nun Gewichtstücke in die Schale und zwar so viel, bis die Waage wieder richtig zeigt, es geben dann die eingelegten Gewichtsstücke das Gewicht des Gegenstandes an.

Die sogenannte Schnellwaage, oder römische Waage, zeigt Fig. 142. Der bei C aufgehängte ungleicharmige Doppelhebel ist an der kürzeren Seite soweit beschwert, daß er unbelastet im Gleichgewichte hängt. Wird an den kürzeren Hebel bei A ein Gewicht gehängt und ein zweites Gewicht (Laufgewicht) auf dem längeren Hebel so weit verschoben, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, so ist

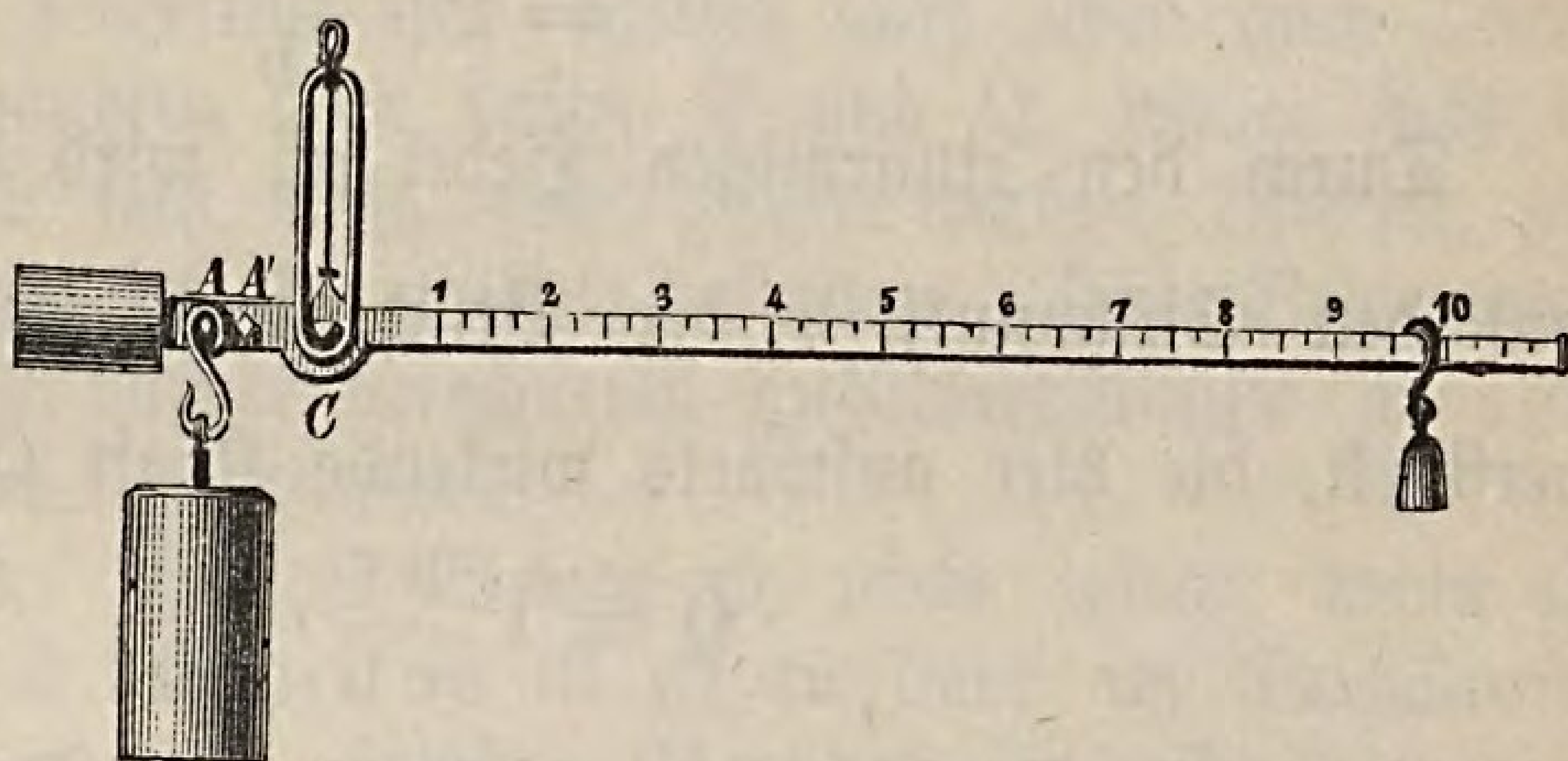


Fig. 142. Schnellwaage.

das bei A aufgehängte Gewicht so viel mal größer als das Laufgewicht, wie der Abstand des letzteren von dem Punkte C die Länge AC übersteigt. An dem für das Laufgewicht bestimmten Hebel angebrachte Zahlen geben das zu ermittelnde Gewicht für jede Stellung des Laufgewichtes an.

Zur Ermittelung von Gewichten, für welche die Länge des Waagebalkens nicht ausreichen würde, ist ein zweiter Befestigungspunkt A' für die Last angebracht; die dieser Belastung entsprechende Eintheilung des Waagebalkens befindet sich meist auf der Rückseite des letzteren.

Die Decimalwaage. In der Skizze einer Decimalwaage, Fig. 143, bezeichnet de die Brücke, welche als Unterlage der zu wiegenden Gegenstände, hier also eines Sackes von dem Gewichte Q, dient, diese Brücke ruht bei h auf dem Hebel ig mit dem festen Drehpunkte i, und ist an dem anderen Ende bei d mit einer Stange verbunden, die bei f an dem doppelarmigen Hebel ab befestigt ist. Der Endpunkt g des bereits erwähnten Hebels gi hängt ebenfalls durch eine Stange gb mit dem Doppelhebel ab zusammen.

Senkt sich der Hebel ab durch Belastung der Waagschale mit dem Gewichte P, so hebt sich sowohl mit dem Punkte f die Brücke de bei d, als auch mit dem Punkte b ihr gegenüberliegender Theil e, indem die Bewegung von b durch das Hängeeisen bg auf den Hebel gi und so auf die Brücke bei h übertragen wird.

Die Kraft Q, mit welcher die Brücke bei d gehoben wird, ergiebt sich aus dem Verhältnisse der Hebelarme a c und c f und aus dem Gewichte P zu

$$Q = P \cdot \frac{ac}{cf}.$$

Die bei b aufwärts wirkende Kraft ist

$$= P \cdot \frac{ac}{cb}.$$

Durch den einarmigen Hebel g i wird diese Kraft mit Bezug auf den Stützpunkt h der Brücke noch im Verhältnisse von $\frac{gi}{hi}$ verstärkt, die hier aufwärts wirkende Kraft Q ist daher

$$Q = P \frac{ac}{cb} \cdot \frac{gi}{hi}.$$

Bei einer Decimalwaage soll Q = 10 P sein, es muß demnach

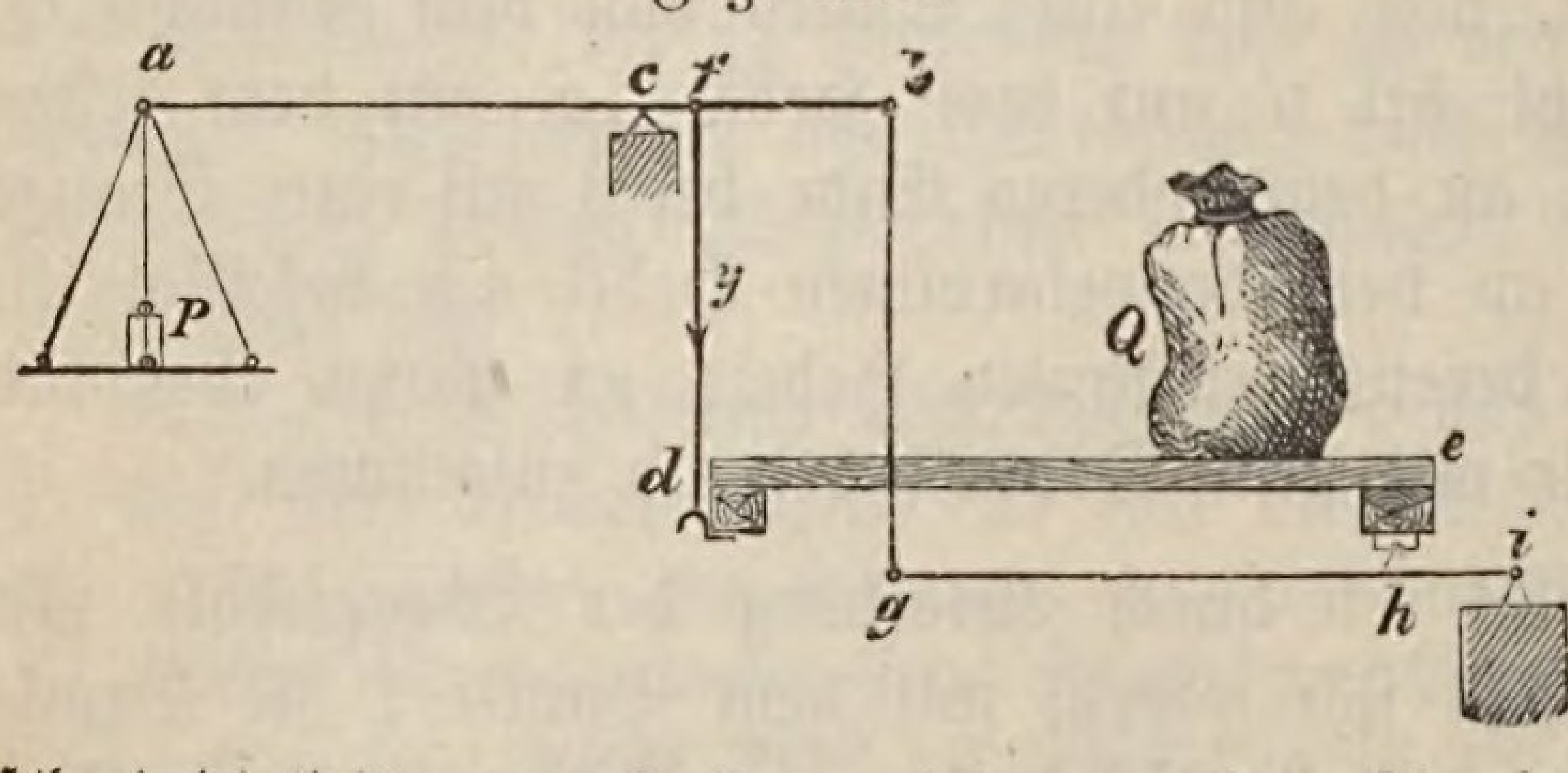
$$\frac{ac}{cf} = 10 \text{ und } \frac{ac}{cb} \cdot \frac{gi}{hi} = 10 \text{ sein.}$$

Zur Erreichung der ersten Bedingung ist der Hebelarm a c 10 mal länger als c f zu machen. Von den Verhältnissen $\frac{ac}{cb}$ und $\frac{gi}{hi}$ kann eins beliebig gewählt werden. Ist, wie üblich, a c = 2 c b, so muß g i = 5 h i sein, dann ist

$$\frac{ac}{cb} \cdot \frac{gi}{hi} = 10.$$

Bei dem Gebrauche der Waage hebt sich mit den Punkten d und e die ganze Brücke gleichmäßig mit einer Geschwindigkeit, welche sich aus den ermittelten Hebelverhältnissen zu $^1/_{10}$ von der ergiebt, mit welcher das Gewicht P niedersinkt. Da nach der goldenen Regel der Mechanik sich die Gewichte umgekehrt wie die Geschwindigkeiten verhalten, letztere aber für jeden Punkt der Brücke überein ausfallen, so bleibt es gleichgültig, an welcher Stelle der Brücke die zu wiegende Last sich befindet.

Fig. 143.

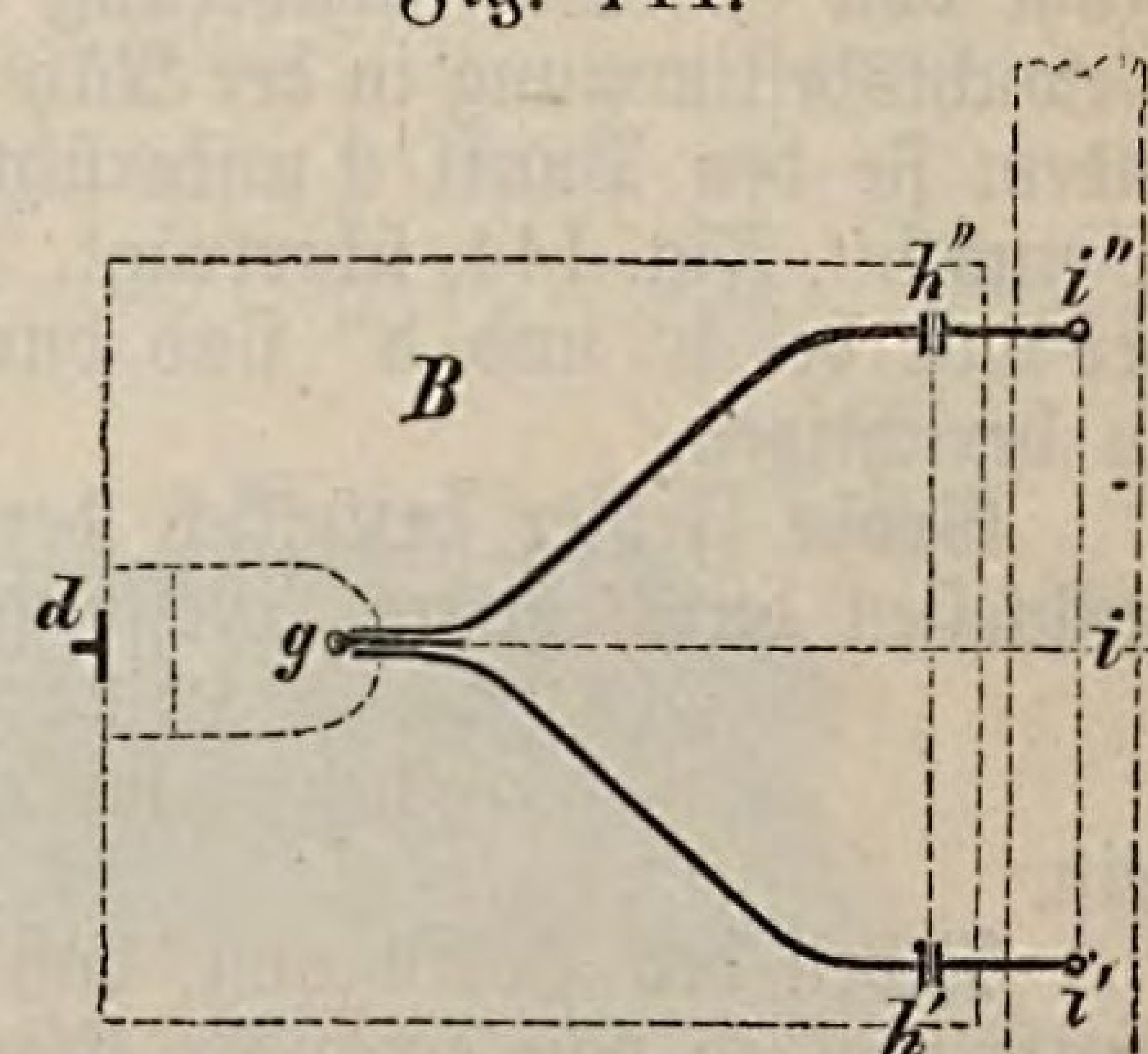


Damit eine Decimalwaage richtig functionirt, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein.

Zunächst ist klar, daß im unbelasteten Zustande der Waage die links von dem Stützpunkte c befindlichen Theile den rechts von ihm liegenden Theilen das Gleichgewicht halten müssen. Ist das nicht der Fall, so sind entweder die Waagschale oder die Brücke so lange durch Anbringung kleiner Blechstreifen oder in anderer Weise zu beschweren, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Dieses darf aber auch durch das Auflegen von Gewichten oder Lasten P und Q, wobei stets Q zehnmal schwerer als P sein muß, nicht gestört werden, einerlei, an welcher Stelle der Brücke sich die Last Q befindet. Diese Bedingung trifft nur zu, wenn die vorher berechneten Hebelverhältnisse a c : c f und a c : c b und g i : h i stattfinden.

Zeigt es sich z. B., daß die Waage zu leicht wiegt, wenn Q sich in der Nähe von d befindet, so ist c f zu klein im Verhältniß zu c a, was entweder in einer falschen Lage der Schneide f (vergl. Fig. 143), der Schneide c oder der Schneide a seinen Grund haben kann. Ehe an diesen Schneiden Aenderungen vorgenommen werden, ist das Gewicht Q möglichst nahe dem gegenüberliegenden Punkte e der Brücke zu bringen. Zeigt es sich, daß auch jetzt noch die Waagschale über ihre Mittelstellung hinaus sinkt, so ist auch c b zu klein im Verhältniß von a c, es ist also eine falsche Lage der Schneide c wahrscheinlich, obgleich der Fehler bezüglich der Stellung des Gewichtes Q in der Nähe von e auch in dem unrichtigen Verhältnisse der Entfernungen von g nach h und nach i seinen Grund haben kann. Um hierüber Aufschluß zu erhalten, ist in folgender Weise zu verfahren.

Fig. 144.



Der Hebel g h i der Fig. 143 hat im Grundriß die Gestalt g h′ i′ h″ i″ der Fig. 144 und unterstützt die punktirt angedeutete Brücke B in den beiden Punkten h′ und h″, da ein einziger Stützpunkt neben der Unterstützung bei d, Fig. 143, nicht genügen würde. Giebt die Waage das Gewicht der mehr über h′ oder über h″ aufgelegten Last überein an, so sind die Verhältnisse von h′ i′ und h″ i″ zu g i (g i ist die Normale aus dem Punkte g auf die Verbindungslinie von i′ und i″) gleich, und verschieden, wenn die Gewichtsbestimmungen verschieden ausfallen.

Nehmen wir an, die Waage functionire richtig, wenn sich die Last Q über h′ befindet, sie wäge aber zu schwer, wenn die Last nach h″ hin verschoben wird, so kann dieser Fehler geändert werden, indem man den Stützpunkt h″ der Brücke etwas nach i″ hin verschiebt. Ist die Waage in dieser Weise berichtigt, so sind Aenderungen in der Lage des Stützpunktes c für den Waagebalken ausgeschlossen, weil diese das Verhältniß von ac : cb berühren und so auf die Bewegung der Stützpunkte h′ und h″ von Einfluß sein würden.

Giebt eine so berichtigte Waage die in der Nähe von d befindliche Last zu leicht oder zu schwer an, so wird eine Verlängerung oder Verkürzung der Entfernung cf durch Verlegung der Schneide f erforderlich, welche die Längen der Hebel cb, gi und hi nicht berührt.

Wiegt die Waage die über h′ und h″ befindliche Last gleichmäßig, aber zu leicht oder zu schwer, dagegen richtig in der Nähe von d, so ist die Schneide b zu verlegen, und endlich der Stützpunkt c oder die Schneide bei a, wenn die Gewichtsbestimmungen überall zu leicht oder zu schwer ausfallen.

Meist ist man genöthigt, bei der Regulirung einer Decimalwaage mehrere Schneiden gleichzeitig zu verschieben. Ueber den einzuschlagenden Weg muß man sich durch Betrachtungen ähnlicher Art, wie sie hier angestellt wurden, klar zu werden suchen.

Man hat dabei namentlich zu beachten, daß eine Verlegung der Schneide bei a die Gewichtsbestimmungen der Last Q bei jeder Stellung auf der Brücke gleichmäßig verändert, daß die Verlegung des Stützpunktes c diese Veränderung ebenfalls für jede Stellung der Last bewirkt, daß dieselbe aber nicht gleichmäßig, sondern in der Nähe von d stärker erfolgt als in der Nähe von e. Eine Aenderung der Schneide bei f hat nur Einfluß auf die Gewichtsbestimmung in der Nähe von d, während eine solche der Schneide b, indem sie den Punkt d unberührt läßt, sich gleichmäßig auf die Punkte h′ und h″, Fig. 144, überträgt. Verschiedenheiten der Gewichtsbestimmungen der Last bei h′ und h″ sind durch Verlegung der gleichbenannten Schneiden zu berichtigen.

Grobe Fehler bezüglich der Entfernungen der Schneiden werden am leichtesten durch directe Messung erkannt. Es muß stets

$$ac = 10\,cf = 2\,cb, \text{ und}$$
$$gi = 5\,hi \text{ resp.} = 5\,h'i' = 5\,h''i''$$

sein.

Neben der Bedingung, daß die Schneiden der Hebel in den richtigen Entfernungen von einander liegen, ist es ferner nothwendig, das auch die Schneiden a, c, f und b der Fig. 145, welche den Waagebalken allein darstellt in gerader Linie, und daß die Schneiden g, h′, h″, i′ und i″ der Fig. 144 in derselben Ebene liegen, weil sich sonst die Hebelverhältnisse ändern, sobald sich die Hebel schräg stellen.

Ist das richtige Höhenverhältniß der Schneiden zu einander nicht gewahrt, so geht die Waage faul, indem es eines verhältnißmäßig großen Gewichtes bedarf, um die Waagschale zum Sinken zu bringen.

Da sich unter der Einwirkung der Last die Hebel biegen und dadurch die Höhenlagen der Schneiden zu einander ändern, so wird klar, daß es vortheilhaft ist, die Hebel nicht nur recht kräftig, sondern auch verhältnißmäßig hoch zu construiren, und daß eine zu stark belastete Waage nicht nur die augenblickliche Belastung unrichtig angiebt, sondern daß sie auch fernerhin unrichtig functioniren wird, sobald die Biegung der Hebel so groß war, daß sie nach der Entfernung der Last nicht vollständig wieder verschwand.

Fig. 145.

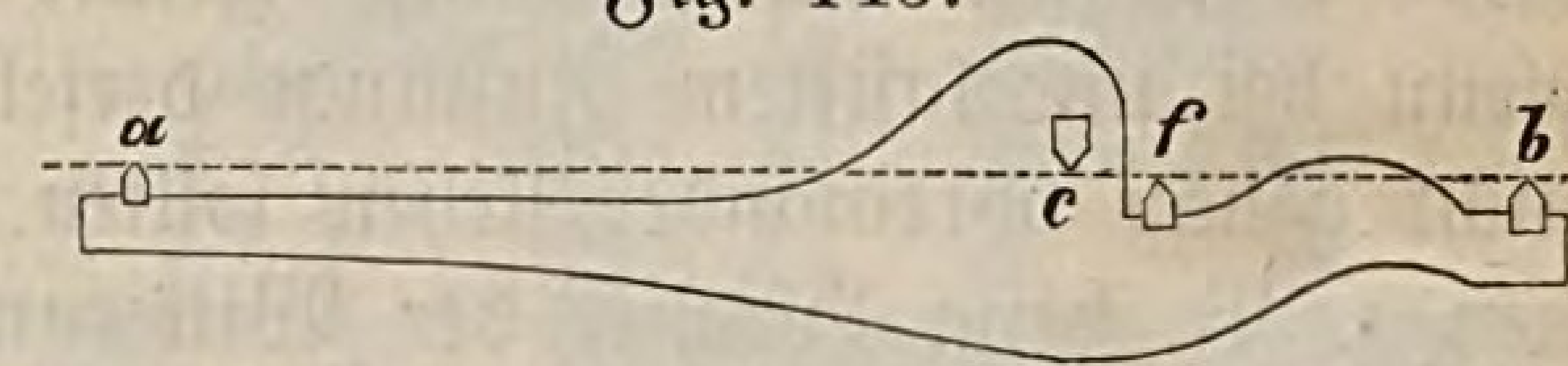
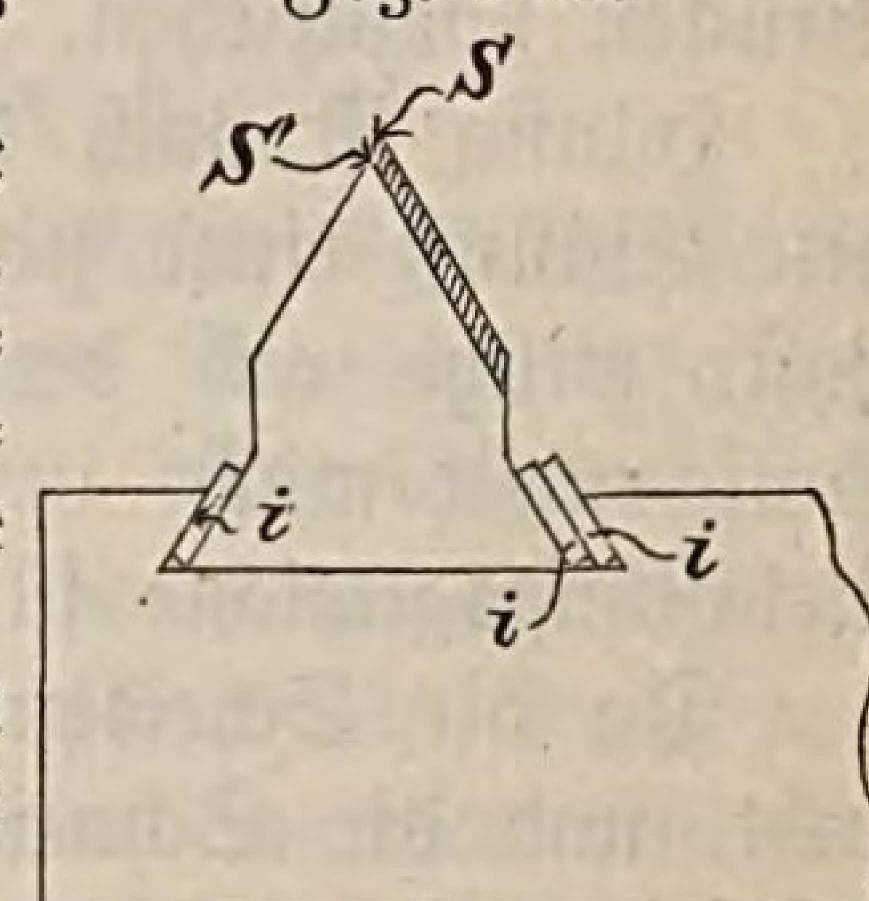


Fig. 146.



Mit Rücksicht auf die richtige Höhenlage der Schneiden zu einander sollte man es stets vermeiden, die Verlegung einer Schneide, Fig 146, durch Abschleifen (des schraffirten Theiles derselben) zu bewirken, weil dadurch die Spitze S zugleich in die tiefere Lage nach S' gelangt.

Die Verlegung kann in einfacher und vollkommen unschädlicher Weise durch Benutzung der in der Figur mit i bezeichneten Blechstreifen geschehen.

Fig. 147 stellt eine Decimalwaage dar, wie solche bei Eisenbahnen im Gebrauche sind. Die Stangen a und b entsprechen den Stangen b g und f d der Fig. 143, welche an dem Waagebalken mit dem festen Stützpunkte c aufgehängt sind. Bei

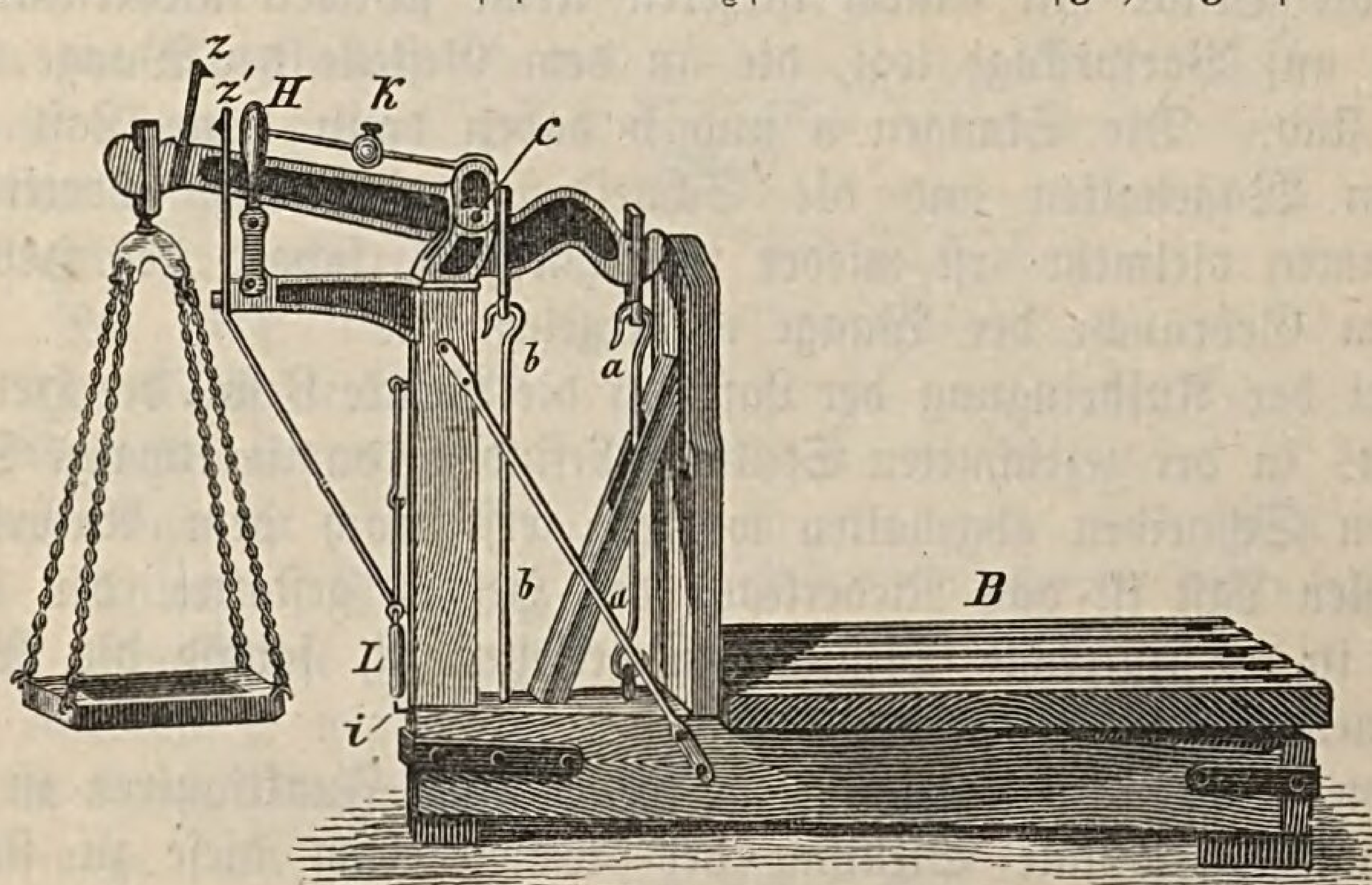


Fig. 147. Decimalwaage.

dem genauen Einspielen der Waage stehen die beiden Schneiden z und z', von denen sich die erstere mit dem Waagebalken be=

wegt und die zweite an dem Gestelle der Waage unbeweglich befestigt ist einander genau gegenüber. Das kleine Gewicht k kann auf der Stange verschoben und mittelst einer Druckschraube an jeder beliebigen Stelle befestigt werden. Das Gewicht dient zur raschen und bequemen Ausgleichung kleiner Ungenauigkeiten der Waage, wenn bei unbelastetem Zustande derselben die Schneiden z und z′ nicht genau voreinander stehen sollten. Solche Ungenauigkeiten können z. B. beim Wechsel der Witterung eintreten, wenn die Brücke B Feuchtigkeit aufgenommen und dadurch schwerer geworden ist. Es sind aus diesem Grunde Waagen mit eisernen denen mit hölzernen Brücken vorzuziehen.

Häufig ist auch die Stange mit einer Skala versehen, welche den Einfluß einer jeden Verschiebung des Laufgewichtes k auf die Last, welche auf der Brücke ruht, deutlich erkennen läßt. Das Laufgewicht macht in einem solchen Falle die Benutzung der kleineren Belastungsgewichte für die Waagschale unnöthig.

Da die Scheiden h′ und h″, Fig. 144, auf welchen die Brücke ruht, und die Schneiden a c f b, Fig. 145, des Waagebalkens bald stumpf werden würden, wenn sie beständig belastet wären, so hat man in dem Hebel H ein Mittel zu ihrer Entlastung angebracht.

Auf diesen Hebel stützt sich bei seiner in der Zeichnung angenommenen Stellung der längere Arm des Waagebalkens, indem zugleich die Brücke mit seinem kürzeren Arme so weit niedersinkt, bis sie sich auf Vorsprünge legt, die an dem Gestelle der Waage angebracht sind. Die Stangen a und b haben dann keine Last mehr auf den Wagebalken und die Schneiden derselben zu übertragen, sie kommen vielmehr erst wieder in Thätigkeit, sobald der Hebel H bei dem Gebrauche der Waage niedergelegt ist.

Bei der Aufbringung der Last auf die Brücke B soll der Hebel H sich stets in der gezeichneten Stellung befinden, damit etwaige Stöße von den Schneiden abgehalten werden; erst nach dem Aufbringen der vollen Last ist das Niederlegen des Hebels gestattet, der sofort wieder in die aufrechte Stellung zu versetzen ist, sobald die Waage nicht mehr gebraucht werden soll.

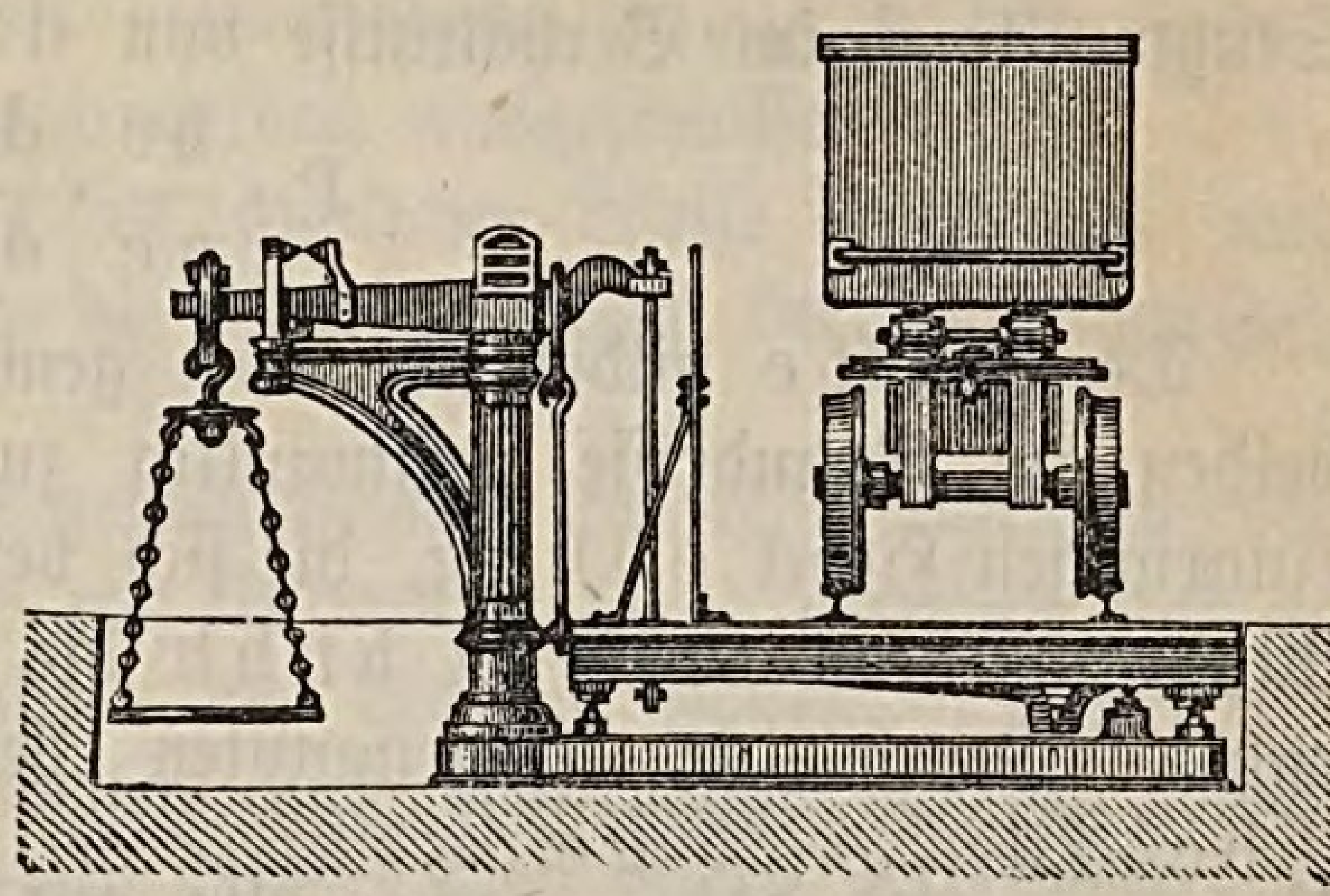
Von großer Wichtigkeit für ihr zuverlässiges Funktioniren ist noch die genau horizontale Stellung der Waage; um diese zu sichern, respective um sie leicht controliren zu können, dient das an einer Kette aufgehängte Loth L, welches genau über der Spitze i hängen muß.

Die sämmtlichen Schneiden und Pfannen der Waage sind stets sorgfältig rein zu halten und dürfen nicht geölt werden, weil

das Oel mit der Zeit verharzt und dann das Spiel der Waage erschwert.

Die Fig. 148 zeigt die Construction einer ganz eisernen Decimal=(Brücken=)waage. Häufig stellt man die Waagen auch auf Rollen, um sie leicht versetzen zu können.

Fig. 148.

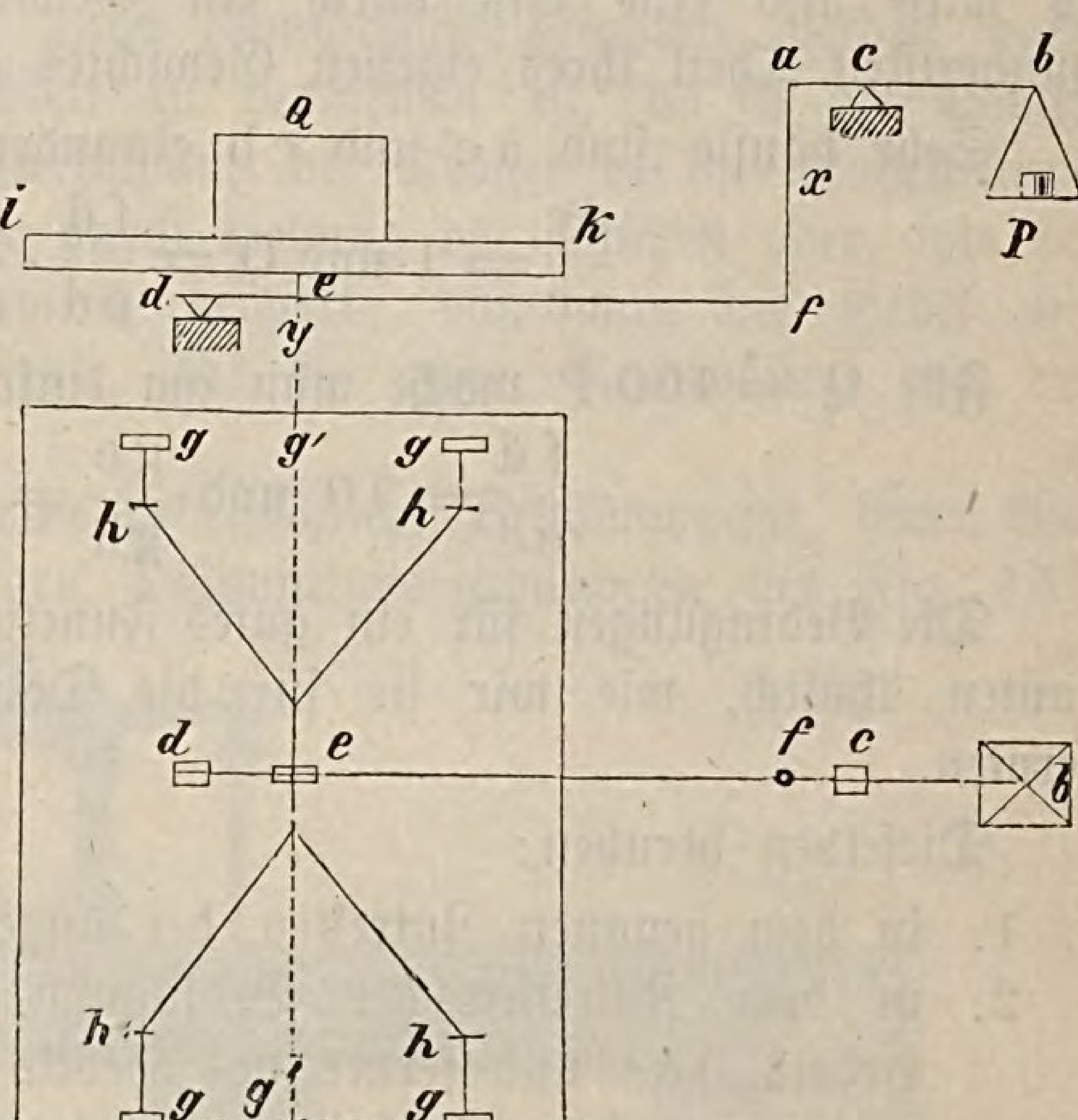


Brückenwaage.

Centesimalwaagen.

Nimmt der Wagen, welcher die Waage der Fig. 148 belastet, die Größe der gewöhnlichen Eisenbahn=Fahrzeuge an, so ist weder diese, noch eine der anderen beschriebenen Vorrichtungen zur Ermittelung des betreffenden Gewichtes geeignet. Die Unzuträglichkeiten der beschriebenen Constructionen beruhen dort, wo es sich um solch schwere Lasten handelt, nicht zum geringsten Theile in dem Umstande, daß selbst die Anwendung von Decimalwaagen eine bedeutende Menge schwerer Gewichtsstücke erforderlich machen würde, deren Handhabung nur unter Aufwendung von viel Zeit und Mühe zu bewirken wäre. Man hat in den Centesimalwaagen Mittel gefunden, den letztgenannten Uebelstand zu vermeiden. Die Fig. 149 zeigt die Construction einer Centesimal= oder Brückenwaage in einfachen Linien. Das auf die Waagschale gelegte Gewicht P wirkt auf den doppelarmigen Hebel a b, mit dem festen Stützpunkte c,

Fig. 149.



und zieht den durch die Stange x mit a verbundenen einarmigen Hebel f d mit der Kraft $P \cdot \frac{bc}{ac}$ an dem Punkte f aufwärts. Diese

Kraft verstärkt sich für den Punkt e des Hebels fd mit dem festen Stützpunkte d im Verhältnisse von df : de, also auf

$$P \cdot \frac{bc}{ac} \cdot \frac{df}{de}.$$

Der Punkt e bildet aber den gemeinsamen Angriffspunkt für die beiden im Grundrisse rechtwinklig zu dem Hebel df angebrachten einarmigen Hebel ehhgg, die sich bei gggg auf festes Mauerwerk stützen und auf denen bei hhhh die Brücke zur Aufnahme der Last ruht. Durch die letztgenannten beiden Hebel wird die Kraft $P \frac{bc}{ca} \cdot \frac{fd}{ed}$ und das $\frac{ge}{gh}$ fache, also auf $P \cdot \frac{bc}{ca} \cdot \frac{df}{ed} \cdot \frac{ge}{gh}$ verstärkt.

Für den Zustand des Gleichgewichtes ist die die Brücke der Waage niederdrückende Last Q um $\frac{bc}{ca} \cdot \frac{fd}{ed} \cdot \frac{ge}{gh}$ mal größer als das Belastungsgewicht P der Waagschale.

Für $\frac{bc}{ca} = 2{,}5; \frac{fd}{ed} = 8$ und $\frac{ge}{gh} = 5$

ist $Q = 2{,}5 \,.\, 8 \,.\, 5 \,.\, P = 100\, P,$

es wird also eine Last durch ein Gewicht gewogen, welches dem hundertsten Theil ihres eigenen Gewichtes gleich kommt.

Sehr häufig sind ac und cb einander gleich, es wird dann

$$\frac{dc}{ac} = 1 \text{ und } Q = \frac{fd}{ed} \cdot \frac{ge}{gh} P.$$

Für $Q = 100\, P$ macht man am einfachsten

$$\frac{fd}{ed} = 10 \text{ und } \frac{ge}{gh} = 10.$$

Die Bedingungen für ein gutes Functioniren der Brückenwaagen lauten ähnlich, wie wir sie für die Decimalwaage bereits kennen lernten.

Dieselben beruhen:

1. in dem genauen Zutreffen der angegebenen Hebelverhältnisse;
2. in dem Zutreffen der Bedingung, daß die Schneiden des Hebels bca und ferner des Hebels fed je in einer geraden Linie, und die der beiden Hebel ehhgg je in einer Ebene liegen. Die Hebel müssen dabei genügend stark sein, so daß sie sich nicht erheblich unter den auf sie wirkenden Lasten durchbiegen, und ist endlich

3. dafür Sorge zu tragen, daß die Stützpunkte d für den Hebel fd, und gggg für die beiden Hebel e gg so fest fundirt sind, daß ein Nachgeben derselben ausgeschlossen ist.

Die Centesimalwaage wird in ähnlicher Weise untersucht und eventuell berichtigt, wie das für die Decimalwaage bereits beschrieben wurde.

Die für Eisenbahnfahrzeuge gebräuchlichen Brückenwaagen werden stets mit einem Schienengeleise zur Aufnahme jener versehen und so angebracht, daß sie das Auffahren der Wagen bequem gestatten.

Das Fahrgeleise zu beiden Seiten muß unmittelbar vor der Waage auf mindestens eine Wagenlänge in gerader Linie liegen, weil sonst beim Auffahren das Fahrzeug eine seitliche schädliche Verschiebung der Brücke anstrebt, durch welche die Hebel, Schneiden u. s. w. leiden.

Die Plattform wird durch zwei quer mit einander abgesteifte eiserne Träger gebildet, auf denen die 5—7 m langen Schienen direct befestigt sind. Wo, wie z. B. bei den Achträdern, diese Länge nicht zur Aufnahme eines Fahrzeuges genügt, wird es nöthig, die Achsen gruppenweise zu wiegen.

Wenn die Waage nicht gebraucht wird und während des Auffahrens von Wagen ruhen die Träger auf festen Stützen und bilden eine Brücke zwischen den anschließenden Gleisen, die vielfach so kräftig construirt wird, daß sie durch Rangirzüge befahren werden darf, was jedoch nach Möglichkeit zu vermeiden ist, da es die Waage ungenau macht. Die Unterstützung der Träger bei der Ruhestellung der Waage wird entweder durch Hebung der Stützen oder, wie bei den Decimalwaagen, dadurch bewirkt, daß man die Hebel mit den Schneiden so weit senkt, bis sie außer Verbindung mit der Brücke kommen.

Die Fig. 150 zeigt eine gebräuchliche Brückenwaage, deren Anordnung der Hebel aus den Dispositionszeichnungen der Fig. 151

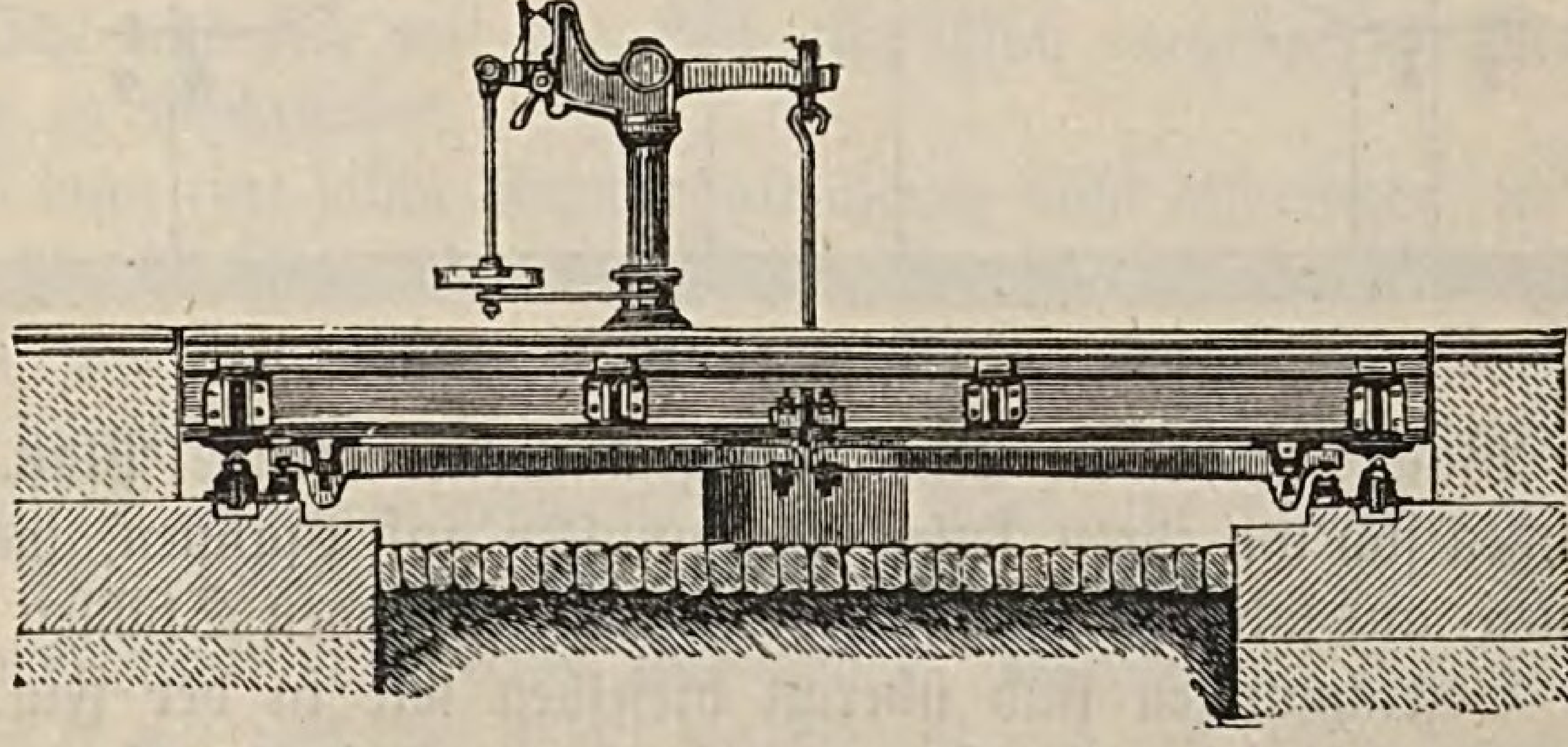
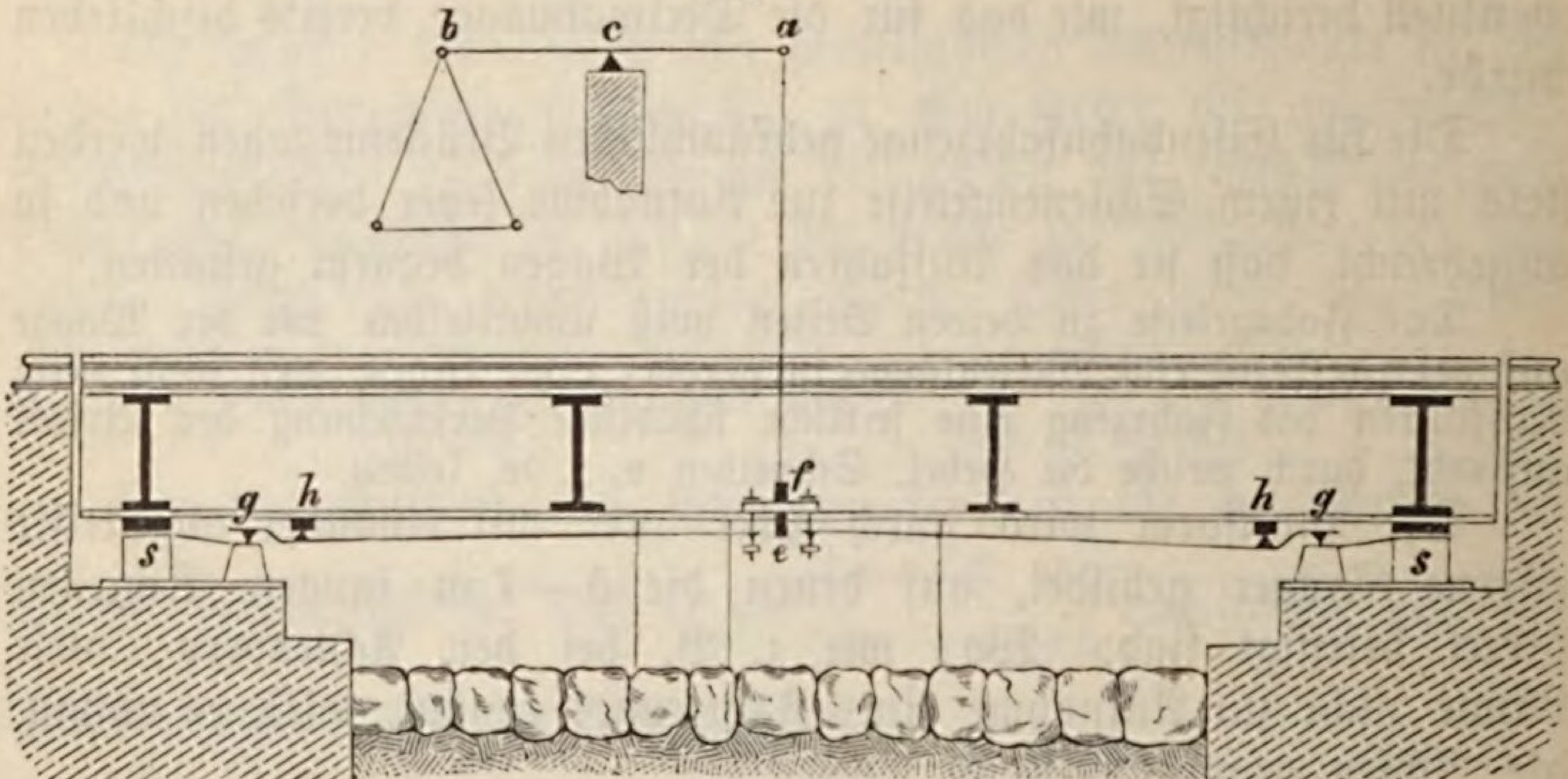


Fig. 150. Centesimal-Brückenwaage.

und 152 zu ersehen ist. Die Fig. 153 soll die Unterstützung der Brücke durch die gabelförmigen Hebel g h e und die Verbindung dieser mit dem Querhebel (d a der Fig. 152) verdeutlichen.

Fig. 151.



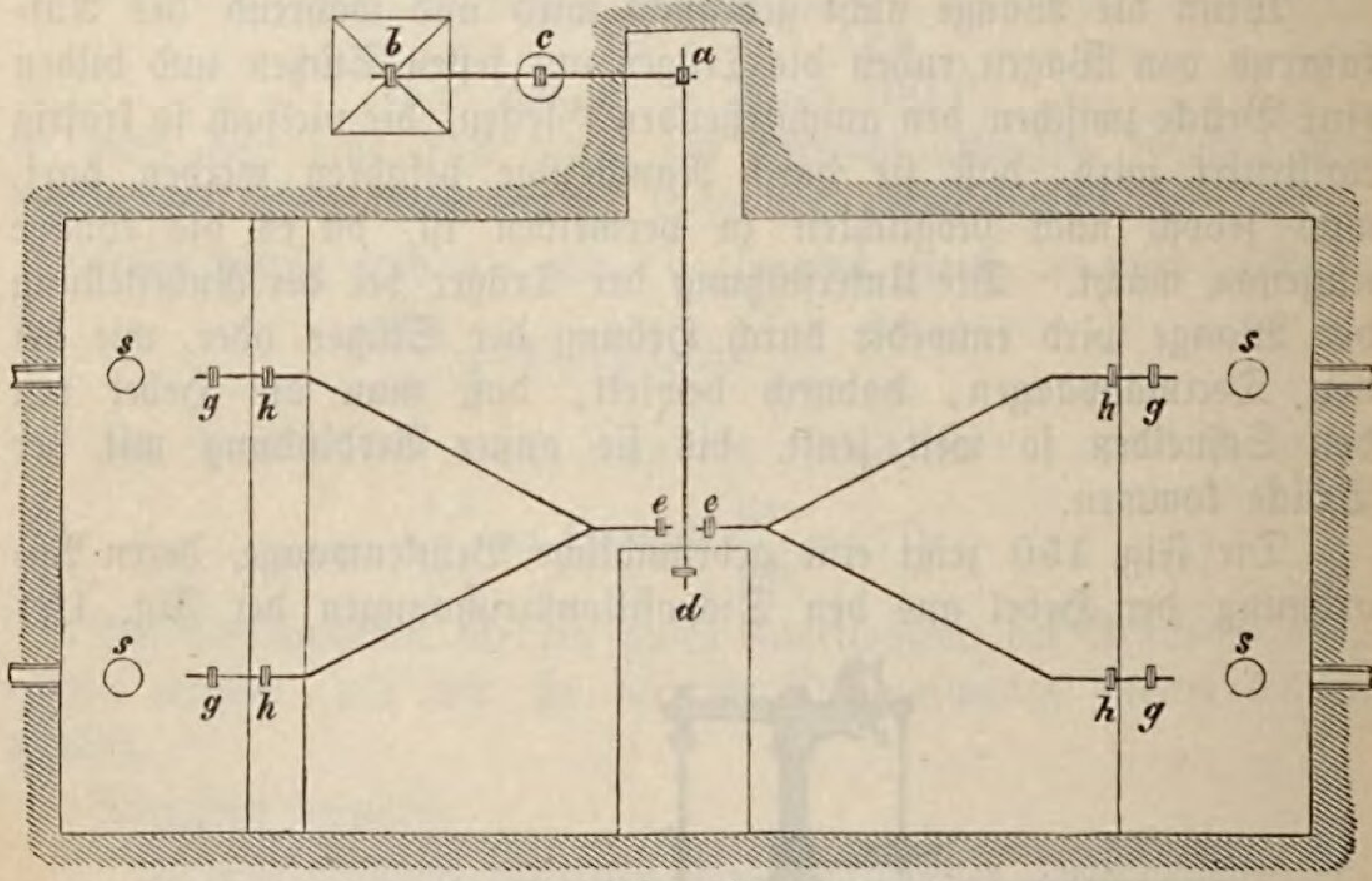


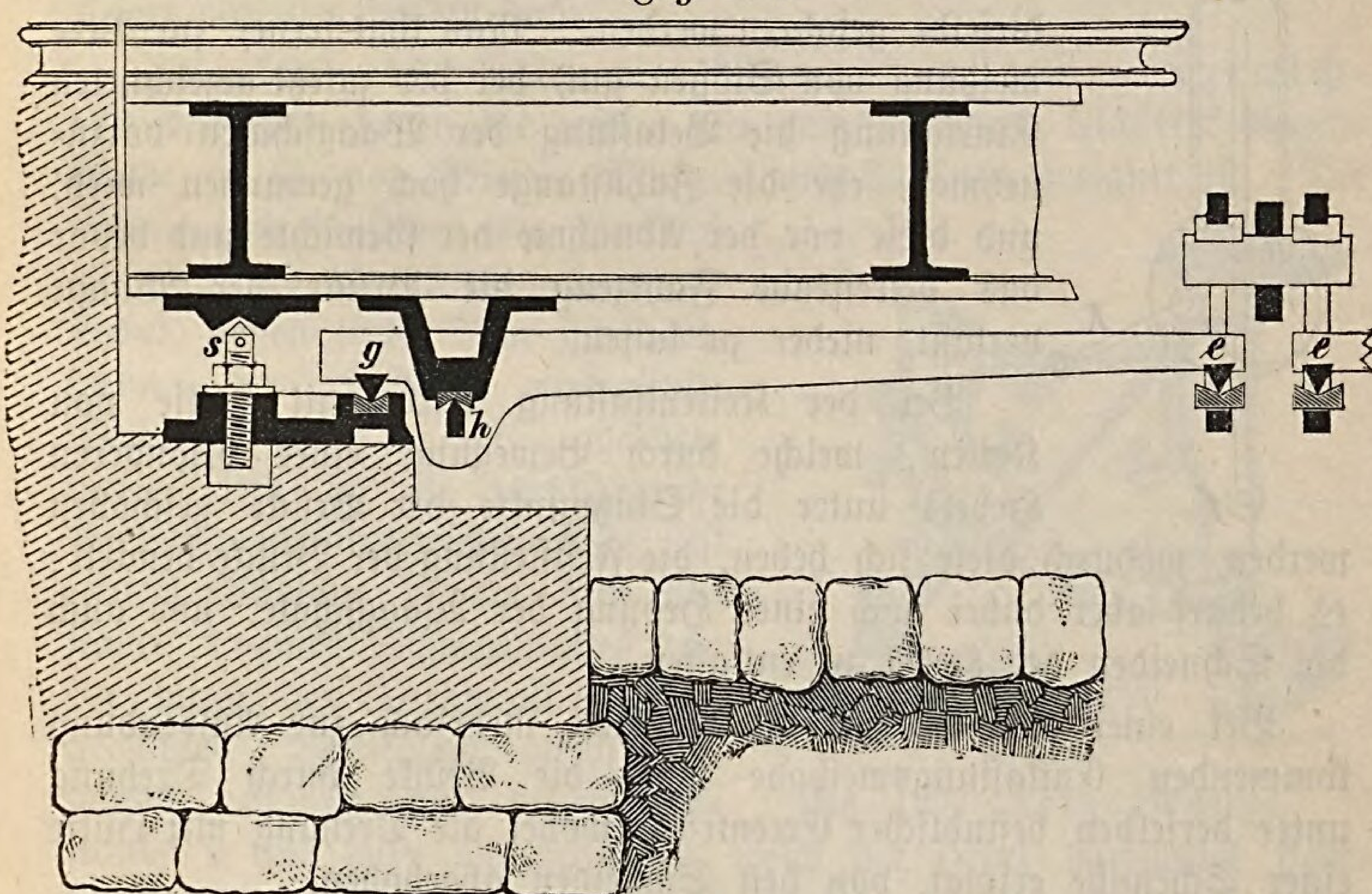
Fig. 152.

Die Waage findet in einer ausgemauerten Grube Platz. Die Hebel stützen sich mit ihren festen Drehpunkten auf Pfannen, welche in gußeisernen, auf solidem Sandsteinmauerwerk ruhenden Stühlen liegen.

Die Bezeichnungen sind überall dieselben wie in der Fig. 149, die Kraftübertragung bedarf demnach keiner weiteren Erläuterung.

Soll die Waage außer Thätigkeit gesetzt werden, so wird der kleine, unterhalb des Waagebalkens angedeutete und mit dem zur Aufnahme jenes dienenden Gestelle verbundene Hebel in die Höhe geschlagen und so die Waagschale selbst gehoben. Dadurch senken sich mit dem anderen Ende des Waagebalkens die Punkte a e und h und legt sich in Folge dessen die Brücke auf die festen

Fig. 153.

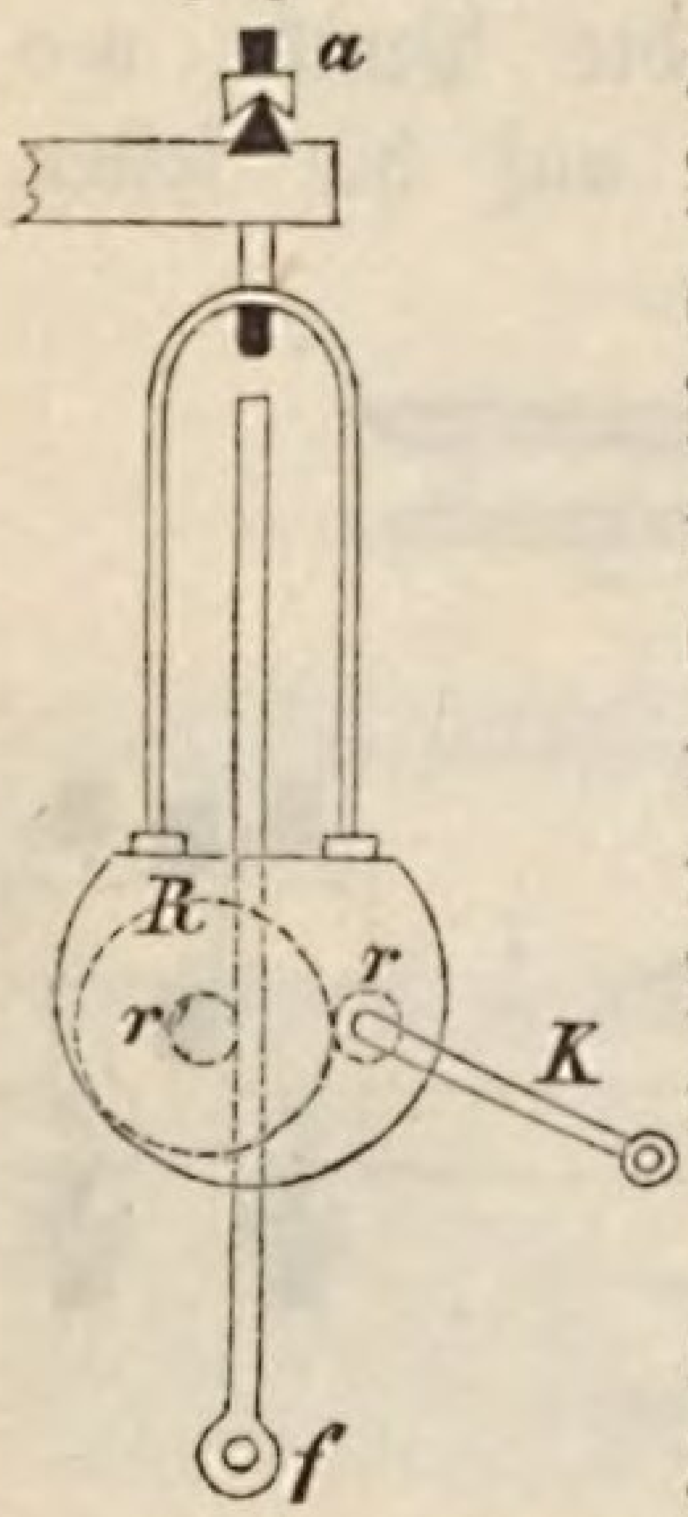


Stützen s s. Da die Senkung der Brücke nur dem hundertsten Theile der Bewegung der Waagschale gleich kommt, so muß letztere schon ziemlich stark gehoben werden, damit vollständige Entlastung der Hebel eintritt. Die in der Fig. 153 angedeutete Stellschraube gewährt ein Mittel, das zur Erreichung einer festen Auflage der Brücke erforderliche und sich mit der Zeit allmählich vergrößernde Maß der Senkung zu beschränken.

Will man eine solche Regulirvorrichtung nicht anbringen, so kommt passend die in Fig. 154 gezeichnete Einrichtung der Stange (a f, Fig. 151) zur Anwendung, welche eine Verlängerung oder Verkürzung der letzteren gestattet. Durch eine an dem abgebrochen gezeichneten Waagebalken bei a aufgehängte Büchse führt eine Zahnstange, deren unteres Ende f mit dem Querhebel f d verbunden ist. In diese Zahnstange greift ein kleines Zahnrad r′, welches mit dem größeren Zahnrade R auf derselben Welle befestigt ist und mit Hülfe des weiteren

Zahnrades r und der Kurbel K gedreht werden kann, wobei die Drehung, je nach der Bewegungsrichtung der Kurbel K, ein Heben oder Senken der Zahnstange und des Punktes f bewirkt.

Fig. 154.



Es ist für eine gute Conservirung der an dem Hebelwerke angebrachten Schneiden von äußerster Wichtigkeit, daß nur in der Ruhestellung der Waage (bei entlasteten Schneiden) Fahrzeuge auf oder über dieselbe gefahren werden. Man thut ferner zur Vermeidung von Stößen gut, bei der zuletzt gezeichneten Einrichtung die Belastung der Waagschalen vorzunehmen, ehe die Zahnstange hoch gewunden wird, und diese vor der Abnahme der Gewichte und bevor das betreffende Fahrzeug die Brücke der Waage verläßt, nieder zu lassen.

Bei der Keilentlastung wird mit Hülfe von Keilen, welche durch Bewegung eines besonderen Hebels unter die Stützpunkte der Brücke geschoben werden, wodurch diese sich heben, die Feststellung der Brücke bewirkt; es bedarf aber dabei noch einer Hebung der Waagschale, um auch die Schneiden der Hebel zu entlasten.

Bei einer anderen, in neuerer Zeit mehrfach zur Anwendung kommenden Entlastungsmethode wird die Brücke durch Drehung unter derselben befindlicher Excentrics, wobei die Drehung mit Hülfe einer Schraube erfolgt, von den Schneiden abgehoben.

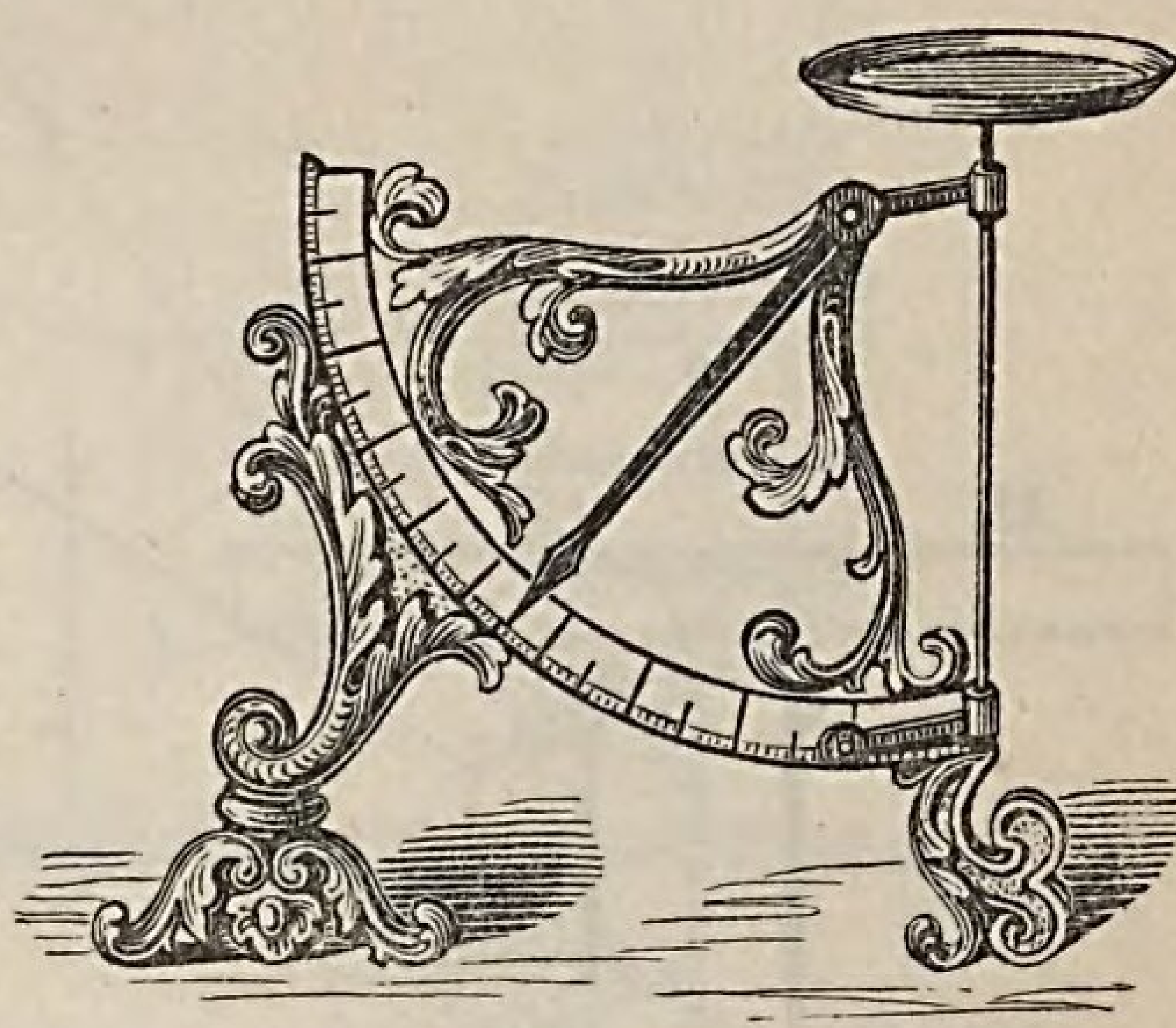
Statt der Ermittlung des Gewichtes der Wagen und der Wagenladungen durch Auflegen von Gewichten auf die Waagschale kommen auch hier Laufgewichte zur Anwendung, welche, ähnlich wie bei entsprechenden Constructionen von Decimalwaagen, auf einer eingetheilten Stange verschoben werden.

Bei der Herstellung von Brückenwaagen ist die möglichste Vermeidung von Holz zu empfehlen, weil dieses leicht Feuchtigkeit annimmt. Aus demselben Grunde werden zu den häufig vorzunehmenden Probebelastungen am besten ganz eiserne Waagen benutzt, deren Gewicht sich unter Witterungseinflüssen am wenigsten verändert.

Das Auflegen der Gewichte bei den Krämer-, Decimal- und Centesimalwaagen, auch das Verschieben des Laufgewichtes bei den Schnellwaagen erweist sich für die Gewichtsbestimmungen in Gepäckexpeditionen frequenter Bahnhöfe noch zu zeitraubend. Da es sich hier meist nur um die Ermittlung der zu zahlenden Ueberfracht handelt, so dürfen die Anforderungen an die Genauigkeit hinter jenen an die Raschheit, mit welcher die Gewichts-

ermittlungen erfolgen, nachstehen Die sog. Zeigerwaagen, welche für Gepäckexpeditionen sich mehr und mehr einzubürgern scheinen, erfüllen obigen Zweck in einfacher Weise, indem bei denselben ein Zeiger an einer Skala das Gewicht des aufgelegten Gepäckstückes selbstthätig anzeigt. Meist werden die Zeigerwaagen so eingerichtet, daß sich unter der Last des auf die Plattform der Waage gelegten Gepäckstückes ein Gegengewicht hebt. Das Maß der Bewegung, welche in geeigneter Weise sich auf den Zeiger überträgt, giebt das Gewicht des Gepäckstückes an. Häufig wird auch das Gegengewicht durch eine Feder ersetzt, deren jedesmalige Spannung an einem Zeiger abgelesen werden kann.

Fig. 155—160 stellen vier Waagen mit Gegengewichten dar, von denen die erstere nur zum Abwiegen leichterer Gegenstände, z. B. von Briefen, Mustern und Packeten geeignet ist. Die Schale zum Auflegen des Packetes ruht auf dem oberen doppelarmigen Hebel, dessen linker Arm sich hebt, wenn die Schale niedersinkt. Das Moment, mit welchem dieser Arm in die ursprüngliche Stellung zurückzuweichen sucht, ist seinem Gewichte P mal dem Abstande x seines Schwerpunktes von der durch den Drehpunkt gezogen gedachten Verticalen gleich, es wächst demnach mit diesem Abstande x und wird am größesten, wenn der Hebel horizontal steht.


Fig. 155. Zeigerwaage.

Dem vorigen Momente muß das durch das auf die Waagschale gelegte Gewicht Q ausgeübte Moment, also das Product aus diesem Gewichte Q mal dem Abstande der die Schale stützenden verticalen Stange von dem Drehpunkte des doppelarmigen Hebels, gleich sein. Dieser Abstand ändert sich gleichfalls bei dem Niedersinken der Waagschale.

Die Eintheilung der Skala sowie die Prüfung der Waage auf ihre Richtigkeit erfolgt durch Auflegen verschiedener Gewichte von bekannter Größe auf die Waagschale.

Der untere einarmige Hebel, welcher die die Schale stützende verticale Stange umfaßt, dient nur zur Führung der letzteren.

Das Maß für den Abstand des Schwerpunktes der linksseitigen Hälfte des Doppelhebels von dem durch seinen Drehpunkt gehenden Lothe, welches für die Gewichtbestimmung von hervorragendem Einflusse ist, ändert sich, sobald die Waage auf eine geneigte Unterlage

gestellt wird, es ist daher bei dieser und bei den auf gleichen Principien beruhenden Waagen der Fig. 156—160 eine genau horizontale Aufstellung von ganz besonderer Wichtigkeit. In der Construction der Fig. 156 finden sich dieselben Theile der vorigen Waage wieder. Der Tisch ruht auf einer verticalen Stütze, welche durch die beiden Hebel h und h′ mit den festen Drehpunkten o und o′ geführt wird.

Der obere Hebel h bildet in seiner Fortsetzung über den Drehpunkt o hinaus den Zeiger, welcher an der Skala das Gewicht Q des auf die Plattform M gelegten Gepäckstückes angiebt. Der Hebel selbst ist abwärts gekröpft und unten mit einem Gegengewichte P verbunden, um die Waage auch für schwere Gegenstände brauchbar zu machen. Die punktirt gezeichneten Linien geben die Stellungen der Plattform, der Hebel und des Gegengewichtes an, wenn sich ein Gegenstand auf ersterer befindet. Wie ersichtlich, ist das Gegengewicht unter der Einwirkung der Last nach rechts hin ausgewichen und hat sich der frühere Abstand x seines Mittelpunktes von dem durch o gezogenen Lothe auf x′ und damit sein früheres Moment in Bezug auf den Drehpunkt o von P x auf P x′ vergrößert.

Fig. 156.

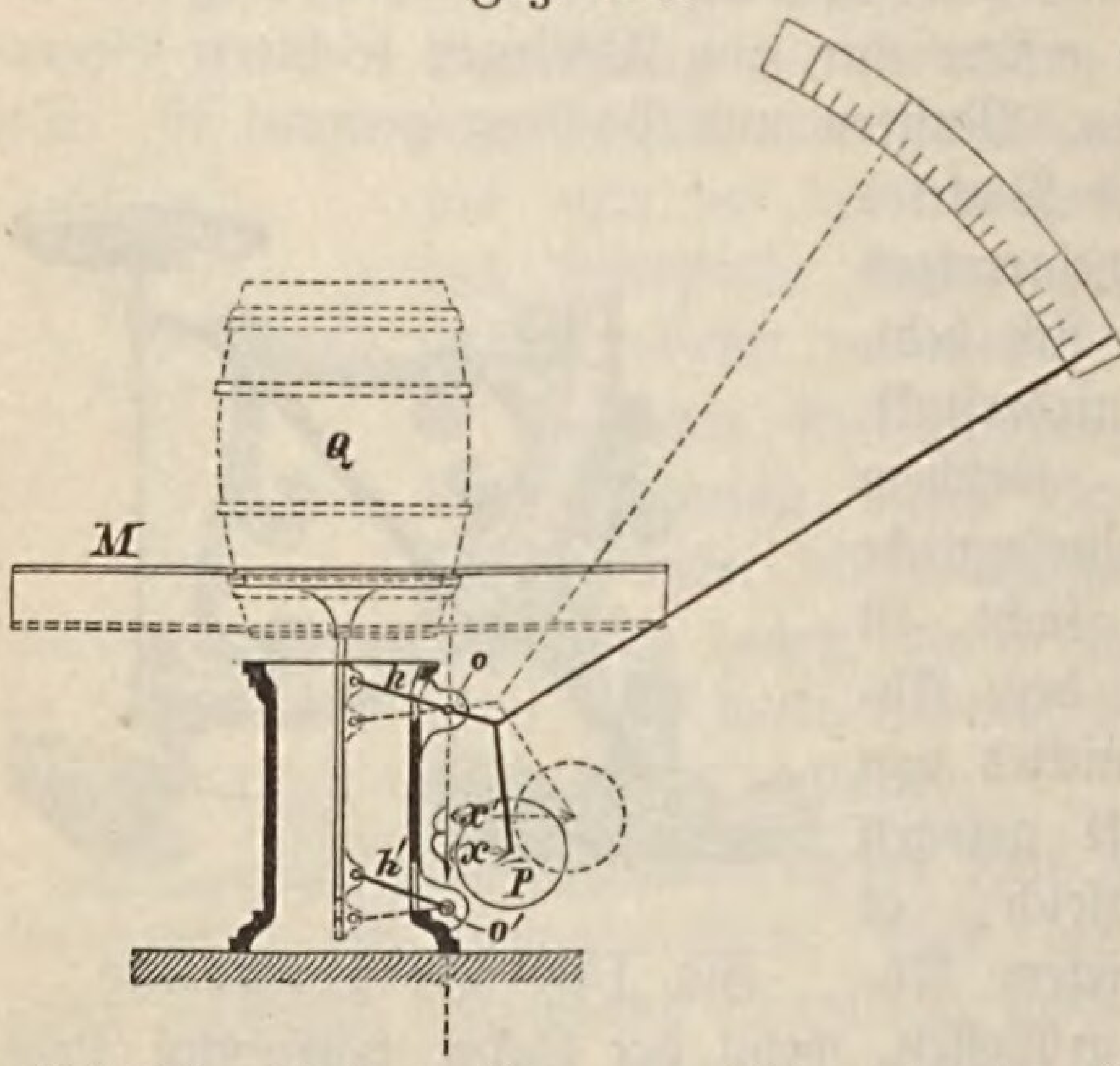


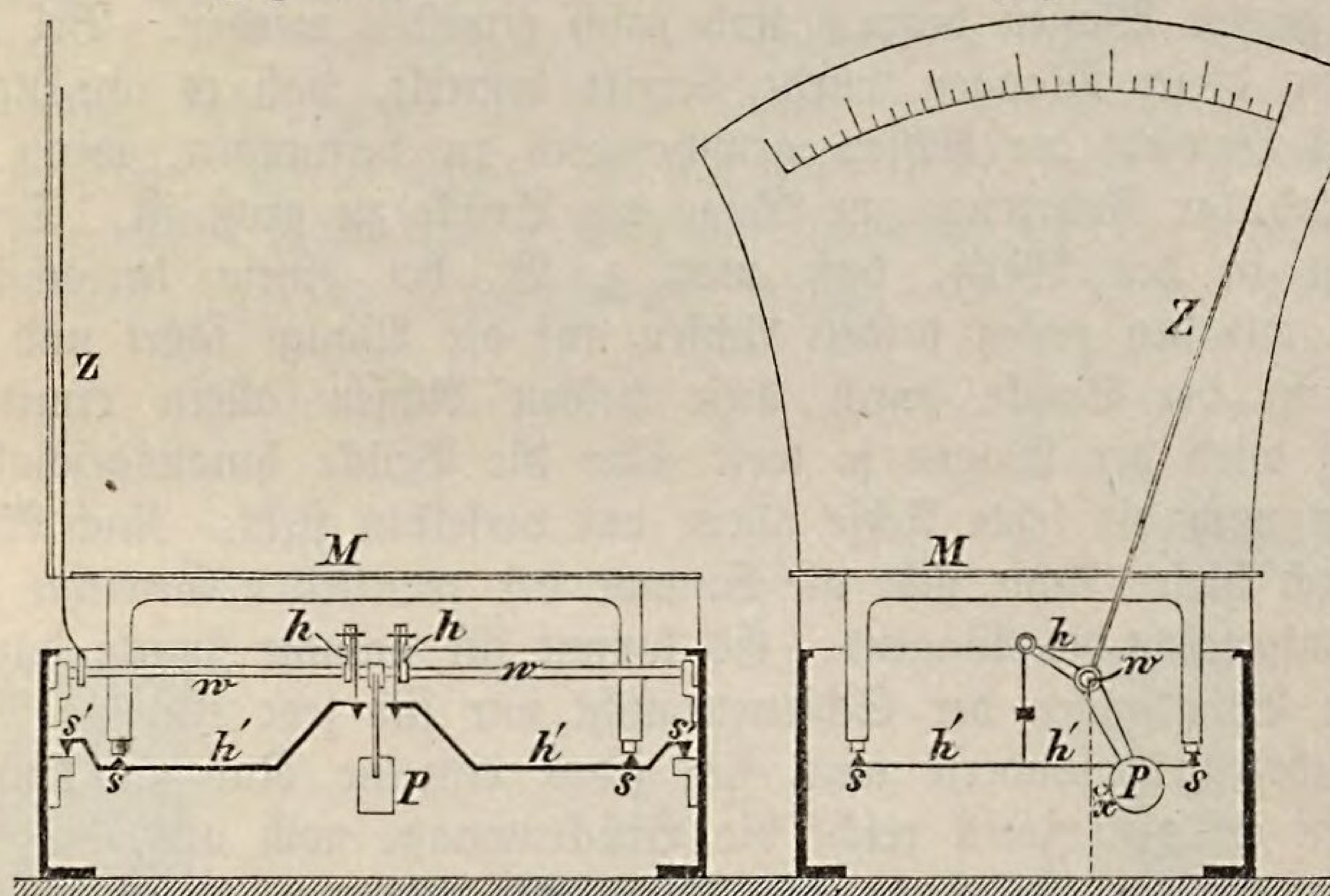
Fig. 157.



Um das Gegengewicht P dort, wo es sich um schwerere Gegenstände handelt, nicht zu groß machen zu müssen, ist bei der durch die Fig. 158—160 dargestellten Waage zwischen der Plattform und dem Gegengewichte ein weiteres Hebelsystem h eingeschaltet, welches viele Aehnlichkeit mit der Anordnung der Hebel bei Brückenwaagen besitzt. Wie bei jenen liegt auch hier die Plattform M mittelst unter ihr angebrachter Träger auf den Schneiden s der Hebel h′, welche selbst auf den 4 an dem Unterkasten der Waage befestigten Stützen s′

ruhen. Die gegenüberliegenden Enden dieser Hebel h′ sind durch kleine Zugstangen mit dem Hebel h verbunden und heben bei dem Niedersinken der Plattform M das Gewicht P und vergrößern dessen Abstand x von dem durch den Drehpunkt des Doppelhebels h, also

Fig. 158. Fig. 159.



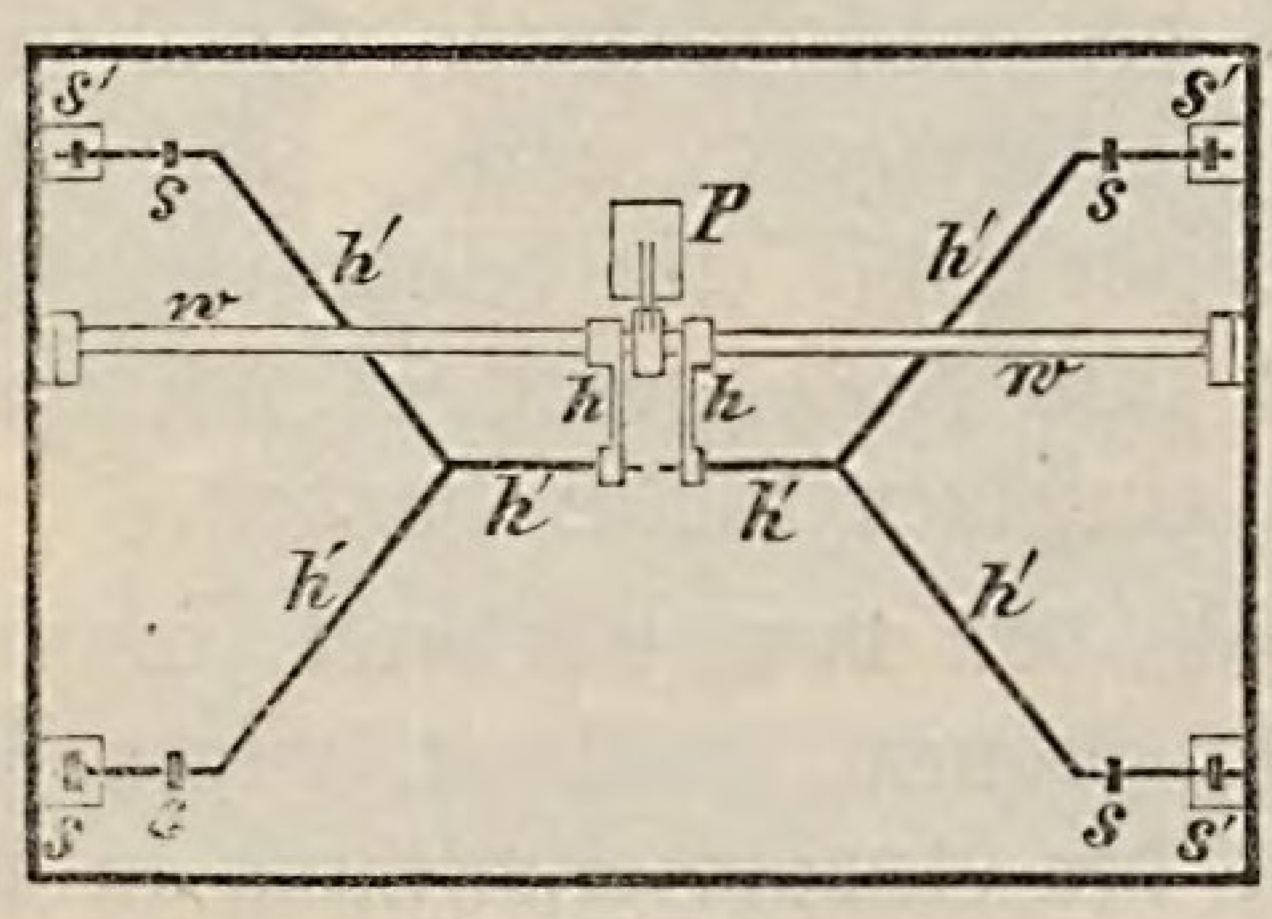


Fig. 160.

durch die Mitte der Welle w gezogenen Lothes. Auf der Welle w, welche sich mit dem Hebel h dreht, ist noch der Zeiger Z befestigt, welcher an der Skala das Maß der Drehung und also auch das Gewicht des betreffenden Gepäckstückes anzeigt.

Krahnwaagen. Diese Waagen werden zwischen die zu hebende Last und die Kette des Lastkrahnes oder der betreffenden Hebevorrichtung eingeschaltet und zeigen bei dem Anwinden das Gewicht der Last an.

Neben dem Zwecke der Gewichtsermittelung, welche durch sie jedoch meist nur annähernd erfolgt, gewähren die Krahnwaagen den Vortheil, daß sie erkennen lassen, ob der betreffende Gegenstand auch die Tragfähigkeit des Krahns, bezw. der Krahnkette nicht übersteigt, ob die Benutzung des Krahns also in jedem Einzelfalle noch zulässig

ist. Die Krahnwaagen werden entweder als Centesimalwaagen oder als Federwaagen construirt, hin und wieder aber auch als hydraulische Waagen eingerichtet, wobei dann der durch die Last auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck in geeigneter Weise gemessen wird.

Ehrhardt'sche Waage. Auf Brückenwaagen können die Gewichte ganzer Wagen bequem und rasch ermittelt werden. Bei Besprechung dieser Waagen wurde bereits bemerkt, daß es angänglich sei, das Gewicht der Achsen gruppenweis zu bestimmen, wenn der Achsstand der Fahrzeuge zur Länge der Brücke zu groß ist. Dieses geschieht in der Weise, daß man z. B. bei einem dreiachsigen Wagen mit den ersten beiden Achsen auf die Waage fährt und die Belastung der Brücke durch diese beiden Achsen allein ermittelt. Darauf wird der Wagen so weit über die Brücke hinausgeschoben, bis nur noch die letzte Achse allein auf derselben steht. Nach Wägung auch dieser Achse gibt die Summe der ermittelten Gewichte das Gesammtgewicht des Wagens. Es kommt für manche Zwecke darauf an, die Belastungen der Schienen nicht nur für jede einzelne Achse des Fahrzeugs, sondern auch für jedes einzelne Rad zu kennen. Für den ersteren Zweck reicht die Brückenwaage noch aus, da man beispielsweise die Belastung der Mittelachse allein erhält, wenn von dem in oben angegebener Weise festgestellten Gesammtgewichte der vorderen und der mittleren Achse die noch nachträglich allein gewogene Belastung der Vorderachse abgezogen wird. Es ist ein solches Verfahren zeitraubend, weil jede Achse eine besondere Wägung erfordert; außerdem führt es nicht zum Ziele, wenn es sich um die Belastung der Schienen durch die einzelnen Räder handelt.

Für solche Zwecke erweist sich der von Ehrhardt construirte Wägeapparat als zweckmäßig und bequem, weil er wegen seiner leichten Versetzbarkeit die Vornahme der Gewichtsermittlung an jedem Orte gestattet.

Fig. 161 und 162 stellen eine zum Abwägen der Belastung der Schienen durch ein Rad R eines Fahrzeugs bereit gestellte Waage Ehrhardt'scher Construction dar. Da es rathsam ist, die Belastungen der sämmtlichen Räder des betreffenden Fahrzeugs gleichzeitig zu bestimmen, so sind derartige Waagen in der Anzahl der Räder erforderlich.

Die im Jahre 1871 abgehaltene Versammlung der deutschen Eisenbahntechniker sprach sich dahin aus:

„Daß die Berichtigung der Belastung der Locomotivräder nach jeder größeren oder die Belastung alterirenden Reparatur der Locomotiven durch

Abwägung mittelst Ehrhardt'scher Brückenwaagen, mit denen sämmtliche Radbelastungen gleichzeitig ermittelt werden können, für den sicheren Lauf der Locomotiven als zweckmäßig und genügend erachtet werde."

Das Gestell G der Waage ruht vorn mittelst der angeschraubten und feilenartig aufgehauenen Stahlplatte S auf dem Fuße der Schiene, und hinten mittelst des durch eine Schraube verstellbaren Tellers T auf dem Planum des Bahnhofes. Die Wägung der Belastung des Rades R wird durch den doppelarmigen Hebel W bewirkt. Dieser Hebel ist mit über seine beiden Seitenflächen vorspringenden Schneiden s versehen und stützt sich durch diese gegen eine tiefer liegende Stahlpfanne, welche selbst wieder durch den

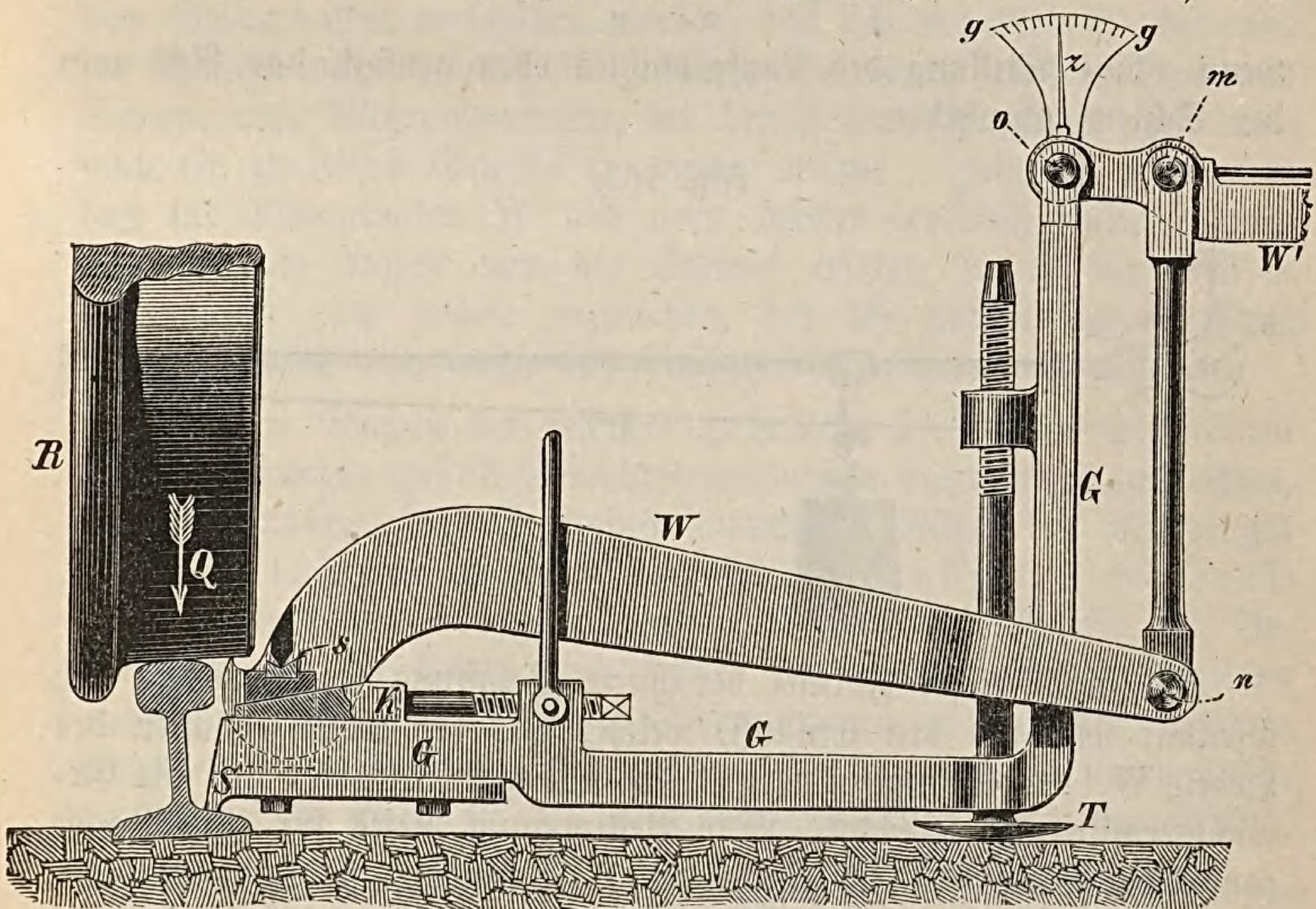


Fig. 161. Ehrhardt'sche Waage.

Keil k gehoben und gesenkt werden kann. Der Hebel W greift vorn mit einer verstählten Spitze unter das Rad R und ist hinten durch die Stange n m mit dem in Fig. 162 nebst dem Laufgewichte P besonders gezeichneten Waagebalken W′ verbunden. Wird dieser Waagebalken W′, der in dem Auge o des Gestells G seinen festen Drehpunkt hat, durch entsprechende Verschiebung des Laufgewichtes niedergedrückt, so folgt der Punkt n dieser Bewegung und hebt sich in Folge dessen das Rad R unter dem Drucke der Klaue des Hebels W von der Schiene ab, wobei der Hebel W selbst sich in der Stahlpfanne bei s dreht.

Bleiben die Eigengewichte des Hebels W, der Stange n m und des Waagebalkens W′ unberücksichtigt und bezeichnen

a die Entfernung der unter das Rad R greifenden Spitze des Hebels W bis zur Schneide s,

b die Entfernung von s bis n,

c die Entfernung von o bis m und

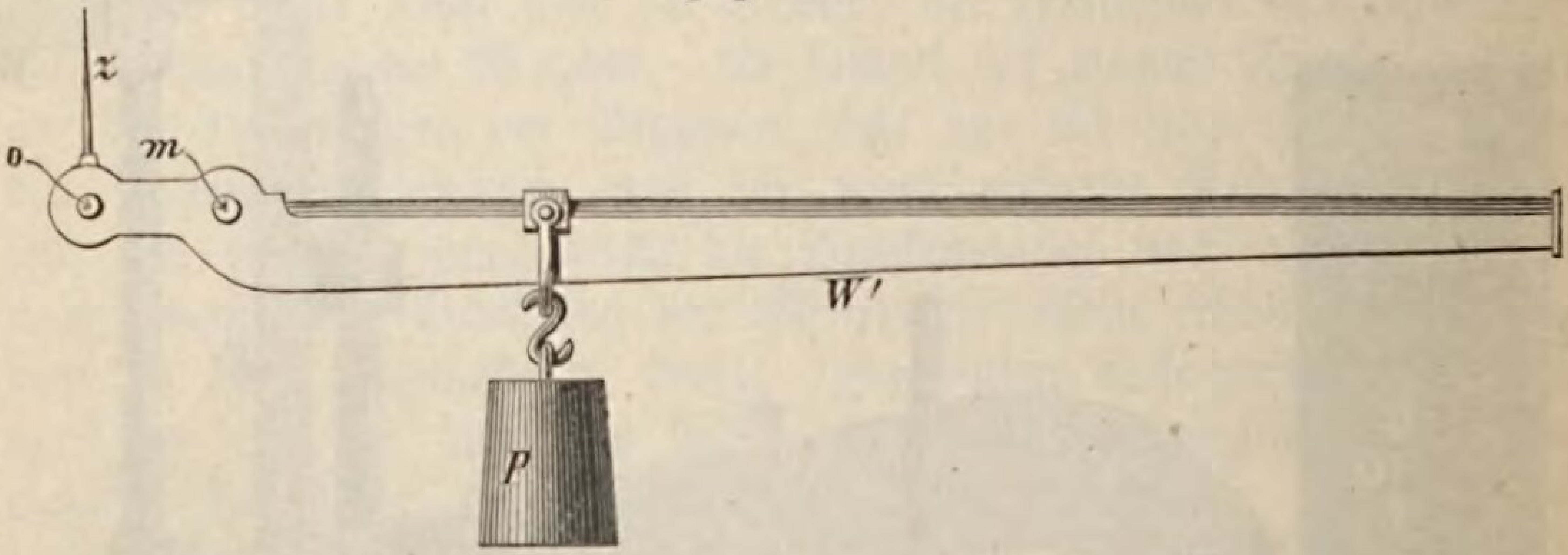
x die Entfernung des Laufgewichtes P von dem festen Drehpunkte o des Hebels,

so ergiebt sich die Belastung Q des Rades R zu

$$Q = \frac{b}{a} \cdot \frac{x}{c} \cdot P,$$

wenn obige Stellung des Laufgewichtes eben genügt, das Rad von der Schiene abzuheben.

Fig. 162.



Die nach dieser Formel berechnete Belastung Q vergrößert sich offenbar noch um den Einfluß, welcher aus den Eigengewichten des Hebels W, der Stange n m und des Waagebalkens W′ auf die Gewichtsermittelung erwächst. Die Bestimmung dieses für jede Waage constanten Einflusses ist Sache des Fabrikanten; sie kann entweder durch Probewägungen bei bekannten Belastungen, oder nach vorheriger Ermittelung der Schwerpunkte von W und W′ durch Rechnung vorgenommen werden. Bei dem Gebrauche der Ehrhardt'schen Waage hat man es nur mit der Stellung des Laufgewichtes P zu thun, weil obige Einflüsse bereits bei der Eintheilung der Skala des Waagebalkens und bei der Bezeichnung der einzelnen Markirzeichen berücksichtigt sind.

Sollten sich die Gewichte und Schwerpunkte der Hebel — etwa durch eine nothwendig gewordene Reparatur oder Verstärkung — ändern, so ist die Neueintheilung der Skala, resp. ihre Prüfung stets durch einen höheren technischen Beamten vorzunehmen; hier auf diese Rechnungen einzugehen, dürfte demnach nicht erforderlich sein.

Bei dem Gebrauche der Waage wird zunächst das Gestell G mit dem Hebel W in der durch die Zeichnung angegebenen Weise zwischen den Schienenfuß und das betreffende Rad geschoben und dann der Teller T so weit niedergeschroben, bis die untere Hälfte des Gestells G horizontal steht. Nachdem vorher das Gewicht P ausgehoben ist, wird der Keil k so weit vorgeschoben oder zurückgezogen, bis der Waagebalken W′ horizontal steht, eine Stellung, die mit Hülfe des Zeigers z und des an dem Gestelle G befestigten Gradbogens g sicher erkannt werden kann.

Nach Anhängung des Laufgewichtes P muß dieses so weit auf dem Waagebalken verschoben werden, bis sich das Rad R eben von der Schiene abhebt, weil ein größerer Spielraum zwischen Rad und Schiene eine Mehranspannung der betreffenden Tragfeder und demnach ein zu hohes Gewicht Q ergeben würde. Zeigt es sich dabei, daß der Waagebalken W′ sich vorn bereits erheblich senkt, ehe ein Abheben des Rades von der Schiene erfolgt, so ist der Keil k nachträglich noch soweit anzuziehen, bis die waagerechte Stellung wieder eintritt, und dann das Laufgewicht nochmals einzustellen.

Um den Einfluß der mit der Höhenlage der Räder wechselnden Federspannungen auf die Gewichtsermittlungen möglichst auszugleichen, wird es rathsam, die Abwägung sämmtlicher Räder des Fahrzeuges gleichzeitig und auf einem möglichst gut fundirten und horizontal liegenden Gleise vorzunehmen. Vor dem Ablesen der Belastungen an der Skala sind ferner die Waagebalken sämmtlicher angestellter Waagen in kleine Schwingungen zu versetzen, weil so störende Reibungseinflüsse der Hebel und Scharniere in ihren Drehpunkten auf die Resultate der Abwägung am besten vermieden werden.

Trotz aller angewandten Sorgfalt zeigen sich bei wiederholt vorgenommenen Wägungen derselben Locomotive häufig verhältnißmäßig erhebliche Abweichungen der ermittelten Radbelastungen. Diese Abweichungen können verschiedene Ursachen haben. Wurde das Fahrzeug zwischen den einzelnen Wägungen nicht verschoben, so sind die gefundenen Differenzen in Fehlern der Beobachtung oder der Waagen zu suchen, deren Bolzen z. B. in den Scharnieren zu viel Luft haben oder zu stramm eingepaßt sein können. Um etwaige Schäden der Waagen zu erkennen, thut man gut, bei den verschiedenen Wägungen die Waagen unter einander zu verwechseln. Zeigen trotzdem einzelne Räder in unerwarteter Weise verschiedene Belastungen, so ist eventuell auf eine ungenaue Lage des Gleises zu schließen, es müssen daher

die Gewichtsermittlungen nach vorherigem Verschieben des Fahrzeuges wiederholt werden.

Handelt es sich, was in der Regel der Fall ist, um Locomotiven, so treten noch neue Umstände hinzu, welche die Radbelastungen verändern. Soll die Locomotive in betriebsfähigem Zustande gewogen werden, so ist die Zahl der eingelegten Roststäbe, die Höhe der aufgeworfenen Kohlenschicht und endlich die Höhe des Wasserstandes im Kessel von großem Einflusse, es dürfen demnach die betreffenden Angaben in den gemachten Notizen und aufgestellten Protokollen nicht fehlen. Außerdem aber sind noch die Stellungen der beiden Kolben — ob in der Mitte oder ob mehr nach vorn oder nach hinten in den Cylindern — anzugeben, weil mit diesen die Lagen der Kreuzköpfe, der Kurbel- und Kuppelstangen und der Gegengewichte der Räder zur übrigen Maschine sich ändern. Da sich mit diesen Lagen aber der Schwerpunkt der Maschine verschiebt und demnach auch das Verhältniß der Radbelastungen wechselt, so sind für möglichst zuverlässige Gewichtsermittelungen vier Abwiegungen der Locomotive, und zwar solche für die beiden mittleren und die beiden Endstellungen der Kolben nothwendig.

Feste Brückenwaagen zur Messung der Radbelastungen der Locomotiven sind im Allgemeinen zuverlässiger als die beschriebenen Ehrhardt'schen Waagen, sie sind aber trotzdem weit weniger als jene gebräuchlich, weil sie theuerer sind und weil sie den Transport der betreffenden Locomotiven nach dem Aufstellungsorte der Waage nöthig machen.

Derartige feste Brückenwaagen unterscheiden sich von den gewöhnlichen, für Eisenbahnzwecke aufgestellten Brückenwaagen hauptsächlich dadurch, daß jeder Schienenstrang seinen besonderen Wägeapparat besitzt. Häufig ist dabei jeder Schienenstrang noch mehrtheilig und mit besonderen Hebelsystemen für jede Abtheilung angeordnet, wodurch erreicht wird, daß die Belastungen sämmtlicher Räder gleichzeitig ermittelt werden können. Außerdem aber gewährt die letztgenannte Anordnung noch den Vortheil, daß die Einflüsse der wechselnden Federspannungen, welche aus dem einseitigen Heben oder Senken der einzelnen Gleistheile erwachsen, fortfallen.

Einige gesetzliche Bestimmungen, betreffend Gewichte und Waagen. Als Urgewicht gilt ein im Besitze der Kgl. Preuß Regierung befindliches Platinkilogramm.

Die Einheit des Gewichtes bildet das Kilogramm (gleich 2 ℔). Es ist das Gewicht eines Liters destillirten Wassers bei + 4° C.

Das Kilogramm wird in 100 Gramm getheilt mit decimalen Unterabtheilungen.

Zehn Gramm heißen Decagramm oder Neuloth, der zehnte Theil eines Gramms heißt Decigramm, der hundertste das Centigramm, der tausendste das Milligramm.

Ein halbes Kilogramm heißt das Pfund, 50 Kilogramm oder 100 Pfund heißen der Centner, 1000 Kilogramm oder 2000 Pfund heißen die Tonne.

Im öffentlichen Verkehre dürfen nur gehörig gestempelte Maße, Gewichte und Waagen angewendet werden.

Jedes Gewichtsstück muß eine Hauptbezeichnung haben und kann außerdem noch eine Nebenbezeichnung haben, nämlich:

Schwere des Gewichtsstückes	Hauptbezeichnungen, von denen eine erforderlich			Zulässige Nebenbezeichnung außerdem
50 Kilogramm.	50 k	. . . . .	100 ℔	1 Ctr.
50 Pfund . . .	. . . . .	. . . . .	50 ℔	0,5 Ctr.
20 Kilogramm.	20 k	. . . . .	40 ℔	—
10 „	10 k	. . . . .	20 ℔	0,2 Ctr.
5 „	5 k	. . . . .	10 ℔	0,1 Ctr.
2 „	2 k	. . . . .	4 ℔	—
1 „	1 k	. . . . .	2 ℔	—
500 Gramm . .	0,5 k	500 g	1 ℔	—
1/2 Pfund . . .	. . . . .	. . . . .	1/2 ℔	—
200 Gramm . .	0,2 k	200 g	. . . . .	20 NL*)
100 „	0,1 k	100 g	. . . . .	10 NL
50 „	0,05 k	50 g	. . . . .	5 NL
20 „	0,02 k	20 g	. . . . .	2 NL
10 „	0,01 k	10 g	. . . . .	1 NL
5 „	0,005 k	5 g	. . . . .	0,5 NL
2 „	0,002 k	2 g	. . . . .	—
1 „	0,001 k	1 g	. . . . .	—

Bei Einsatzgewichten muß auch jedes Stück die erforderliche Bezeichnung haben.

Bei den Gewichten sind kleine Abweichungen von der absoluten Richtigkeit zu dulden, die sowohl im Mehr wie im Weniger stattfinden können, und zwar bei gewöhnlichen Gewichten.**)

10 Gramm bei einem 50 kg Stück,	25 Centigramm bei einem 1/2 ℔ Stück,
8 „ „ „ 50 ℔ und	20 „ „ „ 200 g „
8 „ „ „ 20 kg Stück,	12 „ „ „ 100 g „
5 „ „ „ 10 kg „	10 „ „ „ 50 g „
25 Decigramm bei einem 5 kg „	6 „ „ „ 20 g „
12 „ „ „ 2 kg „	4 „ „ „ 10 g „
8 „ „ „ 1 kg „	1 „ „ „ 5 g „
5 „ „ „ 500 g oder 1 ℔ Stück,	und zwei 2 g und einem 1 g „ zusammen.

*) Anmerkung. NL = Neuloth.

**) Anmerkung. Im Gegensatze zu Präcisionsgewichten zum Abwiegen von Gold, Silber, Juwelen und Perlen, und zu Medicinalgewichten.

Waagen. An jeder Waage muß die größte Last, für welche sie bestimmt ist, bei größeren Lastwaagen auch die geringste zulässige Last, angegeben sein.

Jede Waage muß sowohl belastet als unbelastet, sobald sie, von einer Gleichgewichtslage ausgehend, absichtlich in Schwingungen versetzt worden ist, in ihre anfängliche Gleichgewichtslage wieder zurückkehren.

Bei einer Brückenwaage sind folgende Bedingungen zu erfüllen, daß:

1. das Gewicht zur Last entweder im Verhältniß von 1 : 10 oder 1 : 100 steht,
2. die Waage eine verschiedene Angabe nicht zeigt, sobald dieselbe Last an verschiedene Stellen der Brücke gestellt wird,
3. für Herstellung der horizontalen Lage der Brücke die erforderliche Einrichtung getroffen ist (bei transportabelen Waagen dieser Art etwa ein an dem verticalen Ständer angebrachter Pendelzeiger nebst Einspielungsmarke),
4. eine Einrichtung vorhanden ist, durch welche das Gewicht sämmtlicher Theile sich so ausgleichen läßt, daß die Zunge der Waage in unbelastetem Zustande derselben zur richtigen Einstellung gebracht werden kann.

Die Centesimalwaage muß die Bezeichnung als solche an sich tragen.

Außer den gleicharmigen, ungleicharmigen und Brückenwaagen sind auch noch oberschalige Waagen oder Tafelwaagen zulässig, bei welchen die Schalen über dem Tragmechanismus und horizontal nebeneinander liegen, Fig. 163. Bei diesen darf eine nicht ganz horizontale Aufstellung eine unrichtige Angabe nicht zur Folge haben.

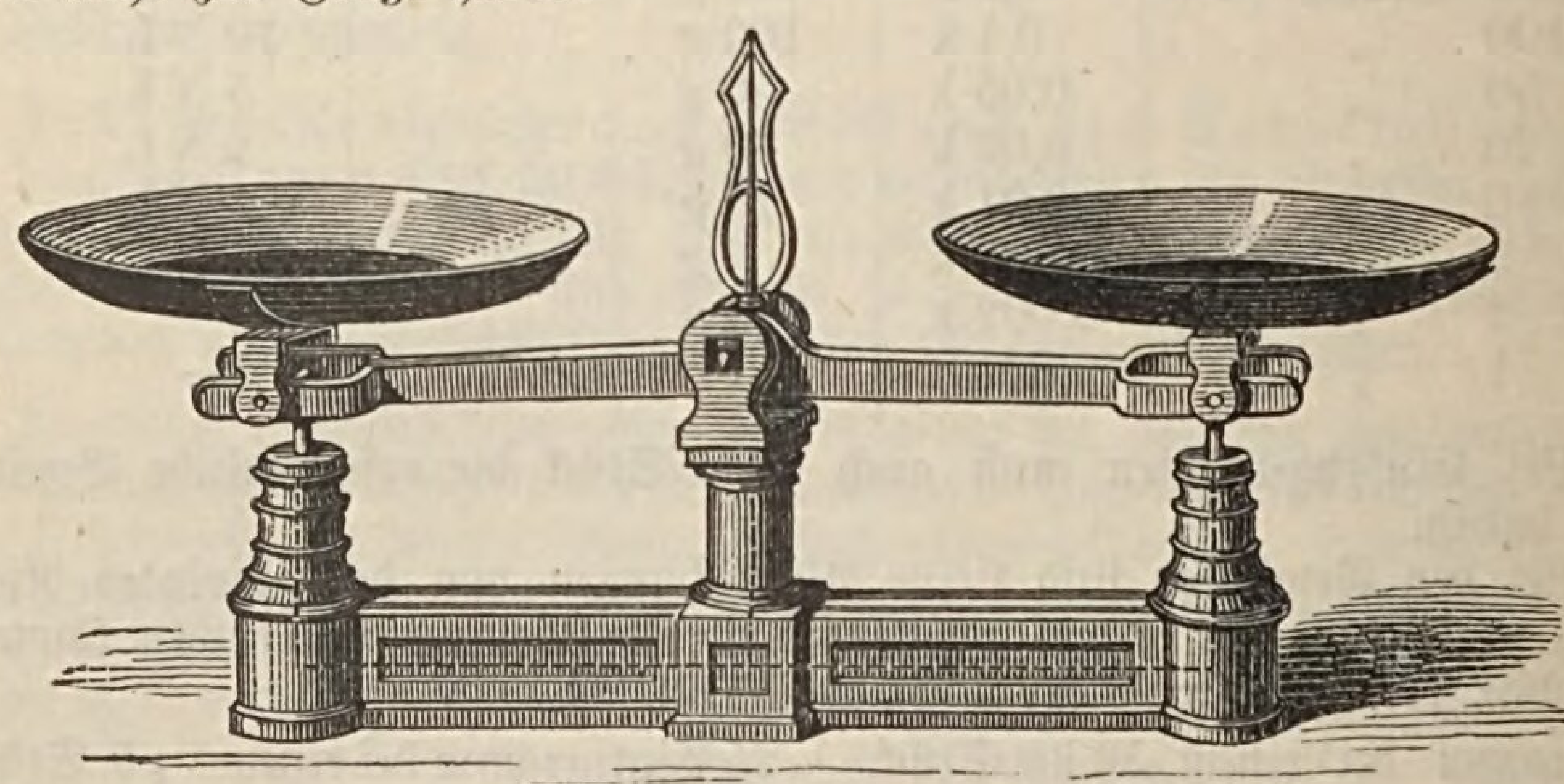


Fig. 163. Tafelwaage.

Eine Waage darf, nachdem die Richtigkeit, Empfindlichkeit und Belastungsgrenze ermittelt ist, nur dann gestempelt werden, wenn sie im Zustande der größten Belastung noch einen deutlich erkennbaren Ausschlag bei einseitiger Hinzufügung eines Gewichtes giebt, welches bei gewöhnlichen Waagen nicht mehr betragen darf als die nachbenannten Größen:

a) bei gleicharmigen Balkenwaagen und Tafelwaagen von mehr als 5 kg größter einseitiger Tragfähigkeit	1 g	für jedes kg der Last.
von 5 kg und weniger	2 g	
b) bei ungleicharmigen Balkenwaagen	2 g	
c) bei Brückenwaagen	12 dcg	

Bei Brückenwaagen beträgt dieses 6 kg pro 5000 kg Belastung.

Prüfung der Waagen. Die Brückenwaagen und die Gewichte müssen bei den Eisenbahnen häufigen Prüfungen auf Richtigkeit unterzogen werden, weil dieselben nicht immer vorsichtig behandelt werden können, also sich leicht Schäden einstellen. Zur Controle der Richtigkeit sind größere Gewichtsstücke zu wägen, diese mit anderen neu beschafften oder nachgeaichten zu vergleichen.

Zweckmäßig werden allmonatlich Probewägungen vorgenommen, um die Uebereinstimmung der eigenen Waagen mit denen anderer Stationen festzustellen, zu welchem Zwecke abwechselnd leichte und schwere, compakte und sperrige Frachtstücke und zwar solche, welche einer Veränderlichkeit ihres Gewichtes während des Transportes nicht leicht unterworfen sind — Metalle, Maschinen, Twistballen 2c —, genau gewogen und mit Gewichtsnoten an die Bestimmungsstation gehen, wo dieselben Frachtstücke wiederum genau gewogen werden; der Befund wird in die Gewichtsnote eingetragen und diese an die Versandstation zurückgesandt. Wenn auf einer Station mehrere Waagen vorhanden sind, so können dieselben unter sich zur Prüfung benutzt werden.

Außer diesen von den Güter- oder Stationsbeamten selbst vorzunehmenden Prüfungen müssen alljährlich die Waagen von einem sachkundigen Mechaniker (Werkstättenschlosser) gründlich in allen Theilen revidirt werden und sind dabei die nöthigen Reparaturen auszuführen. Die Richtigkeit der Waage ist dann durch den Schlosser und den betr. Beamten zu bescheinigen.

Es empfiehlt sich für die Revision und Reparatur aller Waagen einer Bahn immer dieselben Persönlichkeiten heranzuziehen und nicht damit beliebige Schlosser oder Handwerker zu betrauen. Bei solchen Revisionen sind selbstverständlich Normalgewichte, empfindliche Waagebalken und auf einer zuverlässigen Waage abgewogene schwere Gegenstände, z. B. Schienen, Wagenachsen 2c., zu benutzen.

Revisionen der Gewichte und Waagen von Seiten des Eichamtes haben stattzufinden, wenn die gesetzlich zulässige Fehlergrenze überschritten wird, ferner, wenn bei den Reparaturen wesentliche Theile, welche auf die Empfindlichkeit und Richtigkeit der Waage von Einfluß sind, eine Aenderung erlitten haben und endlich mindestens alle drei Jahre (bei Waagen der Behörden), mögen sich nun Unrichtigkeiten gezeigt haben oder nicht.

Die Centesimalwaagen sollten nur von ganz bestimmten Beamten, welche mit dem Mechanismus gut vertraut sind — die eventuell angelernt werden müssen — bedient werden.

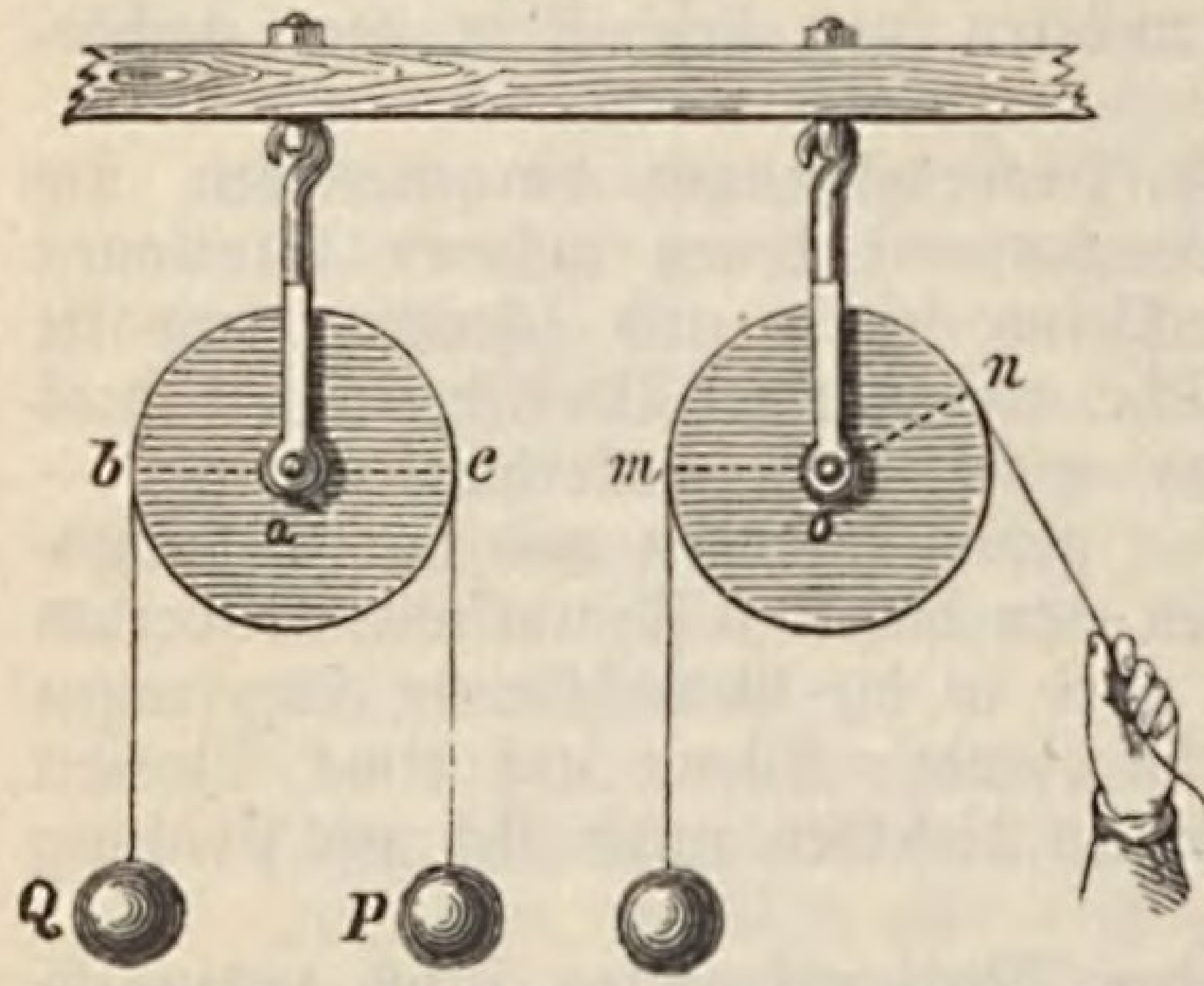
Die Gewichtsstücke müssen unter Verschluß gehalten werden und unberufenen Personen unzugänglich sein. Bei dem Gebrauche sind dieselben vorsichtig zu behandeln, sie dürfen nicht geworfen und gestoßen werden.

Waage und Gewichte sind vor Rost zu schützen, die nöthigen Reinigungen sind mit Fettlappen oder Bürsten auszuführen.

Federwaagen sind im öffentlichen Verkehre nicht zulässig mit Ausnahme für das Verwiegen von Eisenbahn-Passagiergepäck. Eine solche Waage (auf die Federwaagen kommen wir noch zurück) darf nur in solchen Räumen aufgestellt werden, wo ausschließlich Passagiergepäck abgewogen wird. Die Waage muß in deutlicher Schrift die Bezeichnung „Federwaage für Eisenbahn-Passagiergepäck“ haben. Die eichamtliche Prüfung hat in jedem Kalenderjahre stattzufinden.

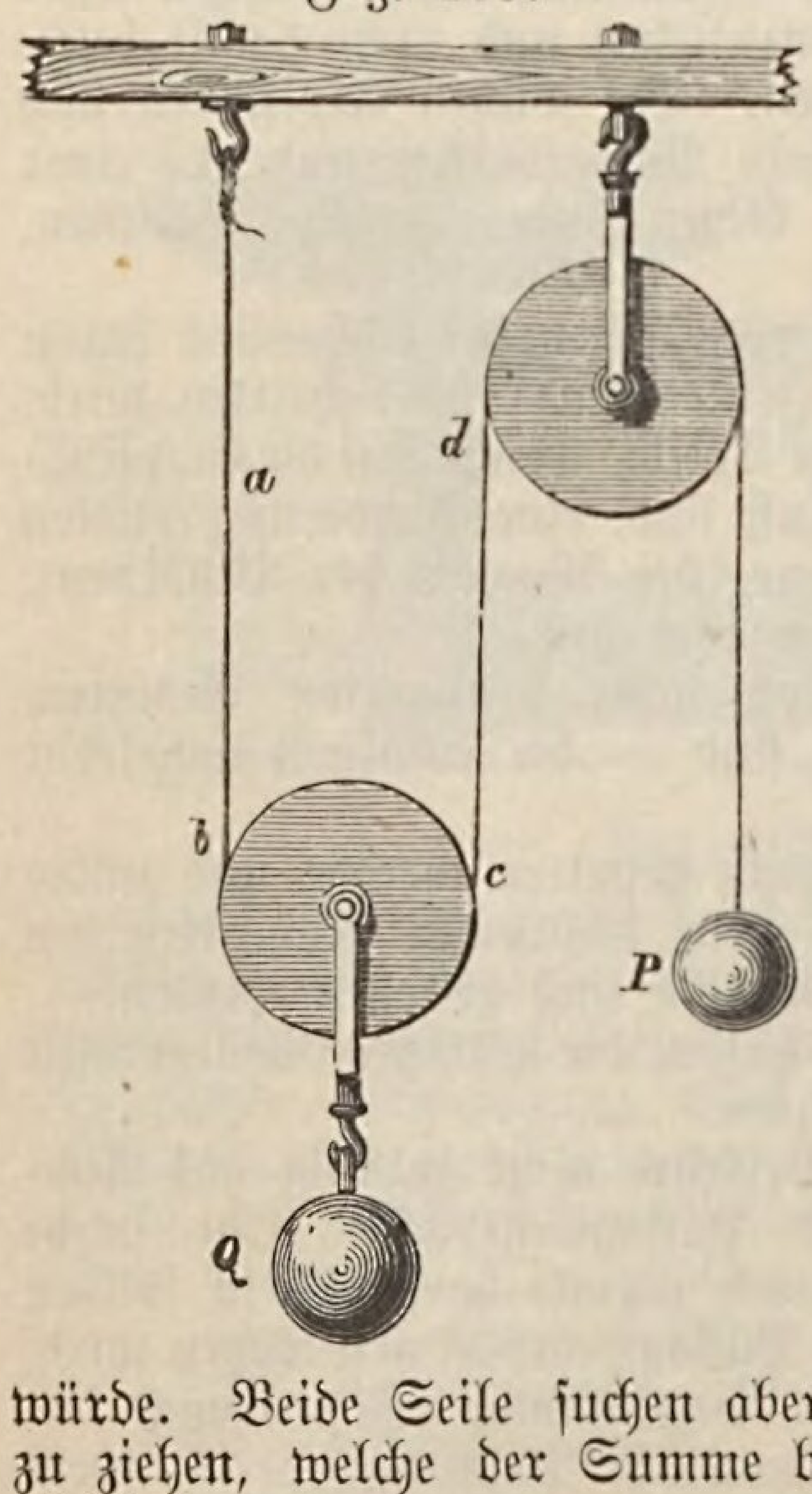
Die feste Rolle. Bezeichnen a und o in Fig. 164 die Mittelpunkte von zwei fest aufgehängten Rollen, und P und Q zwei Gewichte an einem Seile, so ist klar, daß sich die Rolle drehen und das schwerere Gewicht niedersinken wird, sobald beide Gewichte verschieden ausfallen. Sind sie gleich schwer, so erfolgt keine Bewegung. Es wird an dem Gleichgewichtszustande nichts verändert, wenn, wie das bei der zweiten Rolle der Fall ist, das Gewicht P durch eine andere Kraft ersetzt wird, einerlei, ob diese Kraft in verticaler, oder ob sie in einer anderen Richtung zieht, wenn nur diese Kraft dem Gewichte Q gleich ist.

Fig. 164.



Die lose Rolle. Verschieden von der vorigen verhält sich die lose Rolle, Fig. 165, welche das Gewicht Q trägt. Bei dem Niedersinken des Gewichtes P hebt sich das Gewicht Q mit der losen Rolle nur halb so rasch, wie das Gewicht P sich bewegt, es braucht also, da nach der goldenen Regel der Mechanik beide Producte aus der Kraft mal Geschwindigkeit gleich sind, P nur halb so schwer als das Gewicht Q zu sein.

Fig. 165.



Man kann sich von der Richtigkeit des Satzes, daß sich für den Gleichgewichtszustand die an der beweglichen Rolle hängende Last gegen die an der festen Rolle verdoppelt, leicht auch noch durch folgende Betrachtungen überzeugen.

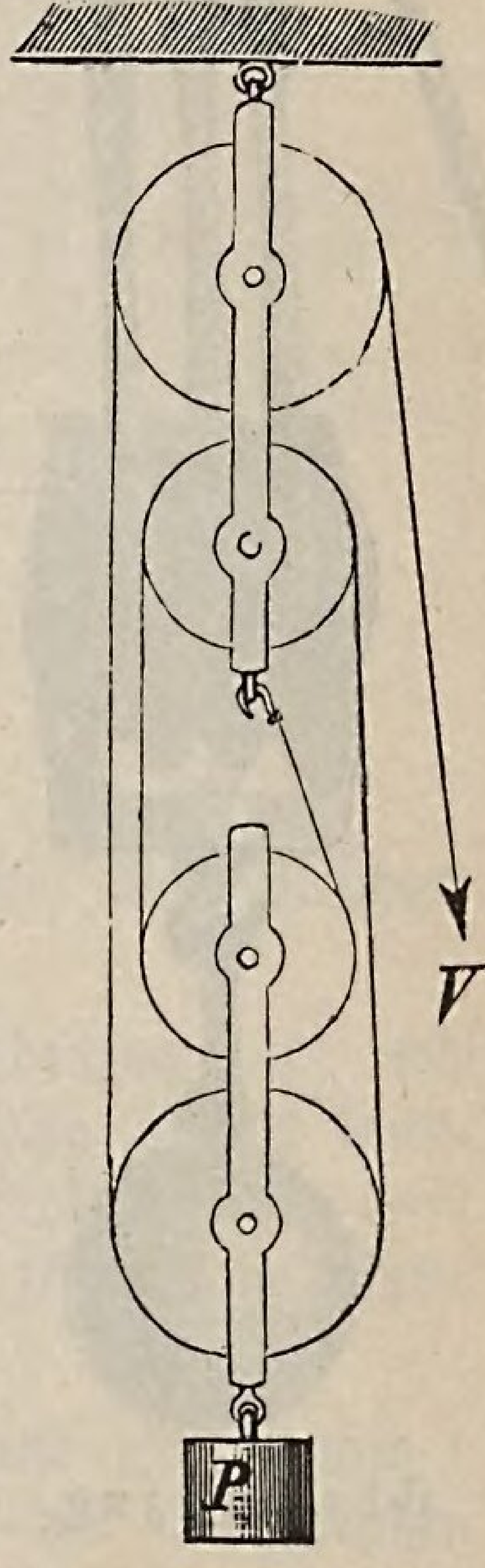
Die in den Seilen c d und b a stattfindenden Spannungen fallen offenbar überein aus.

Die Spannung in c d und damit die in b a muß für den Gleichgewichtszustand gleich dem Gewichte P sein, weil sonst eine Drehung der festen Rolle erfolgen würde. Beide Seile suchen aber die lose Rolle mit einer Kraft aufwärts zu ziehen, welche der Summe beider Spannungen oder dem Gewichte 2 P gleich kommt.

Während demnach durch eine feste Rolle nichts an Kraft gewonnen wird und nichts an Geschwindigkeit verloren geht, verdoppelt sich bei Anwendung einer losen Rolle, sobald nur die Richtung, in welcher die Kraft angreift, der Bewegungsrichtung der Last parallel ausfällt, die Wirkung der Kraft bezüglich der Hebung der Last, die Bewegung der letzteren erfolgt dagegen nur mit der halben Geschwindigkeit der ersteren.

Flaschenzüge. Flaschenzüge bestehen aus einer Verbindung von festen und losen Rollen und sind dazu bestimmt, unter Anwendung verhältnißmäßig geringer Kräfte bedeutende Lasten zu heben. Die Fig. 165 stellte einen Flaschenzug einfachster Anordnung dar, bei welchem durch Benutzung einer festen und einer losen Rolle die Kraft sich verdoppelte. Diese Anordnung ist aber in der Praxis wenig üblich und genügt auch für sehr viele Fälle die Verdoppelung der Kräfte nicht. Gebräuchlicher als der vorige ist schon der durch die Fig. 166 dargestellte Flaschenzug mit zwei festen und zwei losen Rollen, welche je in einem besonderen Gestelle, einer Flasche, vereinigt und die sämmtlich übereinander angeordnet sind.

Fig. 166.



Wird das um die vier Rollen geschlungene Seil mit einer Kraft V angezogen, so wird in jedem der vier Seilenden eine Spannung entstehen, welche der bei V ausgeübten Zugwirkung gleichkommt. Diesen vier Seilspannungen hält aber das Gewicht P das Gleichgewicht, dasselbe ist daher viermal größer als jede Einzelspannung des Seiles, oder es ist

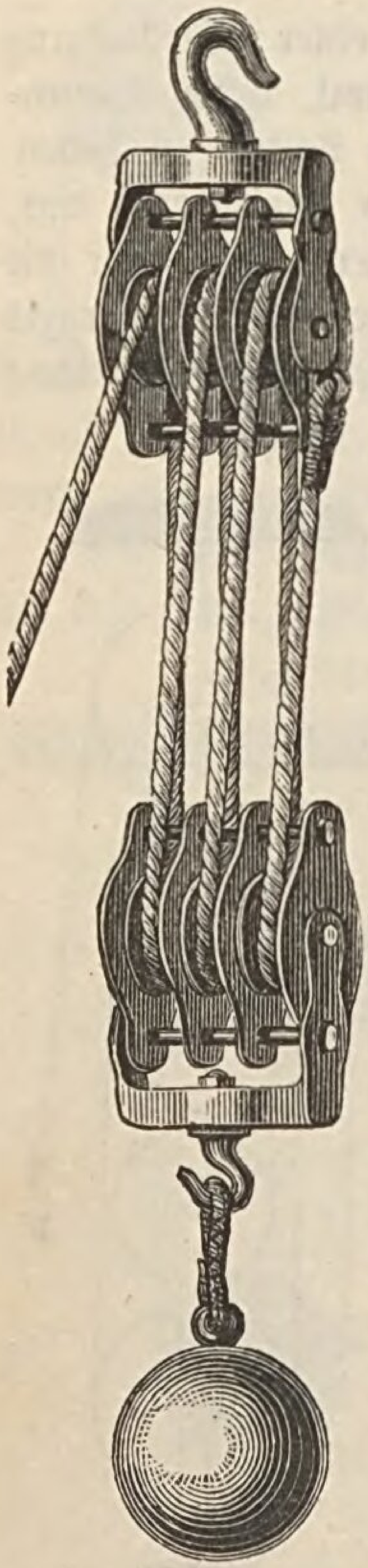
$$P = 4 . V.$$

Ein anderer Beweis für diesen Satz beruht in dem Umstande, daß bei der Hebung der Last sich die vier Seile zwischen den oberen und unteren Rollen gleichmäßig verkürzen und daß daher, da die Länge des ganzen Seiles sich nicht ändert, der Angriffspunkt V der Kraft sich viermal rascher bewegt als der der Last P.

Es ist klar, daß mit der Zahl der Rollen sich gleichmäßig auch die Zahl der verticalen Seilenden vermehrt, welche je einen Theil der Last tragen; es wird demnach die Kraft, welche der am Flaschenzuge hängenden Last das Gleichgewicht hält, durch Theilung der letzteren durch die Zahl der angewandten Rollen gefunden.

Wenn die Anbringung der festen und der losen Rollen in je einer Flasche übereinander zu viel Raum erfordert, so werden die Rollen jeder Gruppe nebeneinander gelagert, wie das in Fig. 167 geschehen ist. Bei den hier vorhandenen sechs Rollen erfordert das Heben der an dem Flaschenzuge aufgehängten Kugel eine Kraft, welche dem sechsten Theile ihres Gewichtes gleichkommt. Die Anwendung von mehr als vier Rollen nebeneinander ist wenig üblich, da die Bewegung der vielen Rollen und außerdem die Ueberwindung der Steifigkeit des Seiles, welches um die Rollen gebogen werden muß, viel Kraft absorbirt. Es bleibt aus diesem Grunde die wirklich mit einem Flaschenzuge zu hebende Last hinter der, welche die Rechnung ergiebt, um so weiter zurück, je größer die Zahl der Rollen, je kleiner ihr Durchmesser und je dicker und steifer das Seil sind.

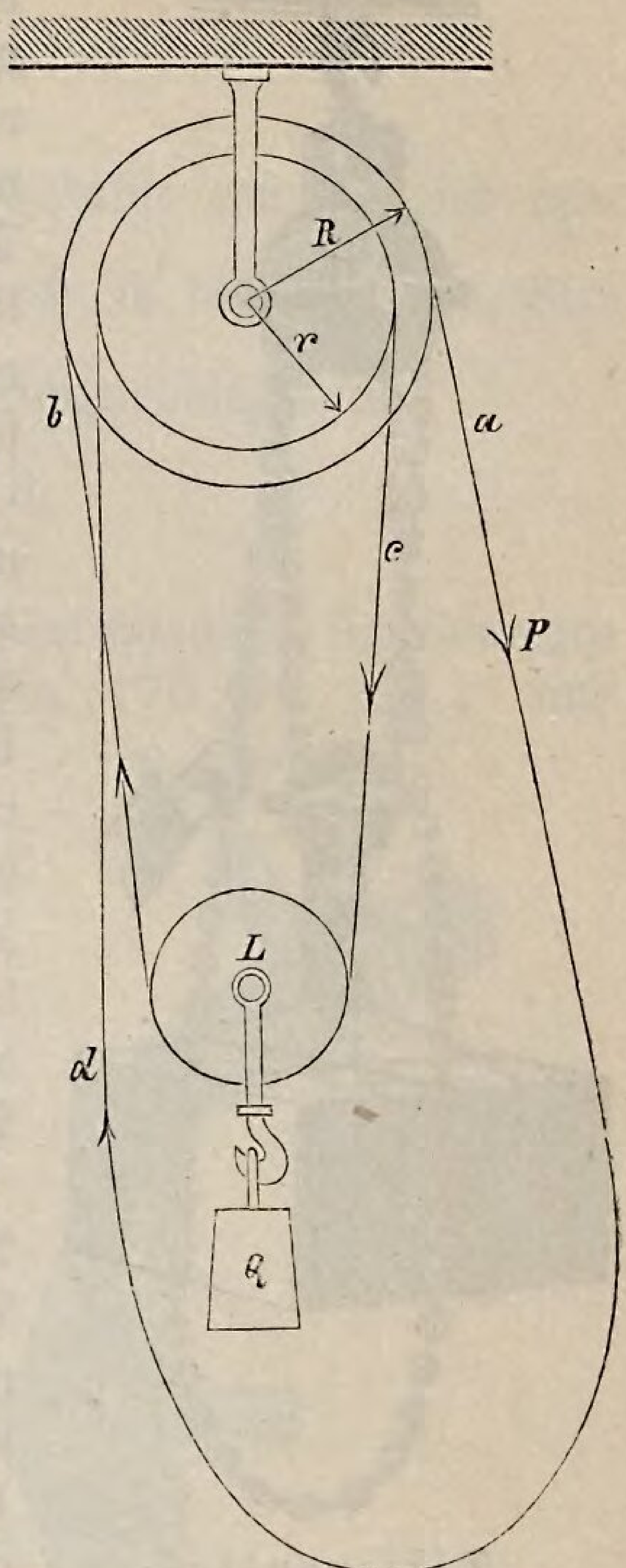
Fig. 167.



Flaschenzug.

Der Differential-Flaschenzug. Bezeichnen in der Fig. 168 R und r die Halbmesser von zwei festen Rollen, welche auf der gleichen Welle festgekeilt sind, und L eine lose Rolle zur Aufnahme des Gewichtes Q, so wird sich bei der gezeichneten Anordnung des Seiles a, b, c, d ohne Ende, welches um die drei Rollen geschlungen ist, für jede Umdrehung der beiden Rollen R und r eine Seillänge auf die größere Rolle R aufwickeln, resp. deren obere Partie passieren, welche dem Umfange $2 R \pi$ der Rolle gleichkommt, während zugleich der Angriffspunkt der Kraft P um ein gleiches Maß fortrückt. Wäre das Seil c, statt es um die Rolle r zu schlingen, an einem festen Punkte aufgehängt, so würde sich die lose Rolle L für jede Umdrehung der festen Rolle R um ein Maß aufwärts bewegen, welches dem halben Umfange der Rolle, also dem Maße $R \pi$ gleich käme. Durch die Verbindung aber des Seiles mit der Rolle r wickelt sich von dieser bei jeder Umdrehung ein Seilende von der Länge $2 r \pi$ ab, die Rolle R sinkt also gegen früher um das Maß $r \pi$.

Fig. 168.



Das Aufwickeln des Seiles b auf die Rolle R bewirkt eine Hebung des Gewichtes Q um das Maß R π, und gleichzeitig das Abwickeln des Seiles c von der Rolle r eine Senkung des Gewichtes um das Maß r π. Die wirkliche Hebung des Gewichtes Q bei jeder vollen Umdrehung der beiden Rollen R und r ist offenbar gleich der Differenz R π — r π jener beiden Bewegungen. Da sich der Angriffspunkt P der Kraft für jede Umdrehung der Rollen R und r um das Maß 2 R π fortbewegt, so muß, nach der goldenen Regel der Mechanik,

$$P \, . \, 2 \, R \, \pi = (R \, \pi - r \, \pi) \, Q$$

oder

$$P = \frac{R - r}{2 \, R} \cdot Q$$

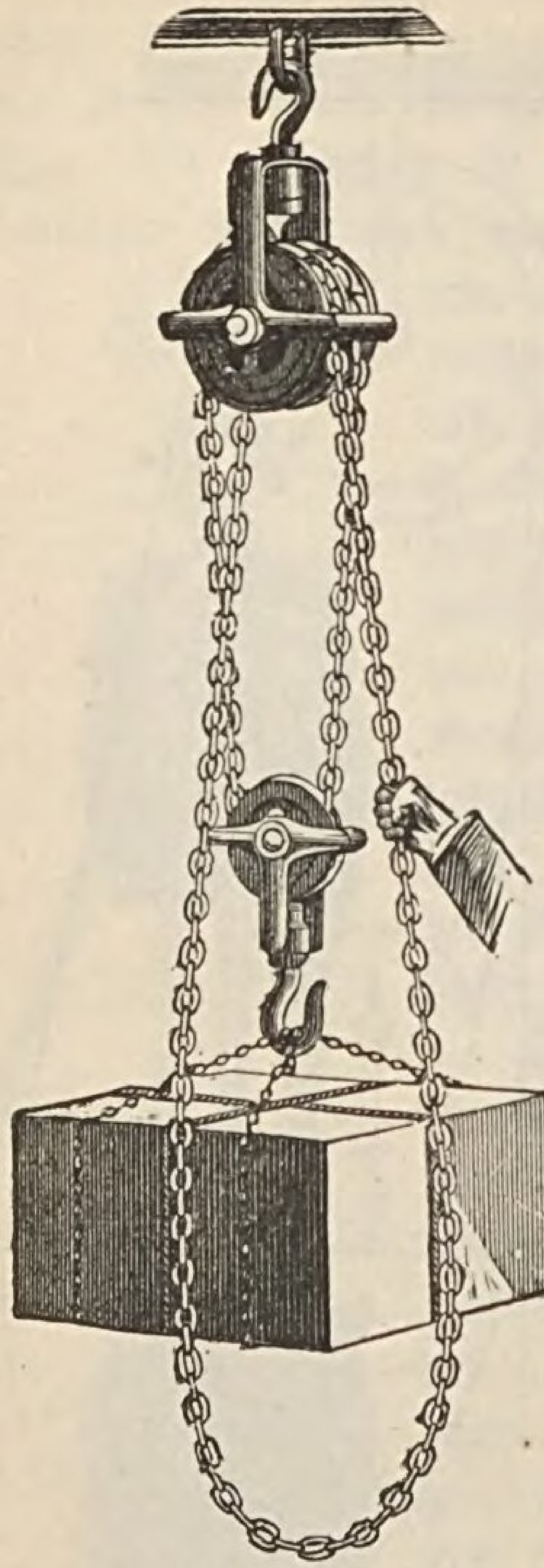
sein.

Ein Differentialflaschenzug wirkt nach diesen Erörterungen um so kräftiger, je geringer die Differenz R — r im Verhältniß zu dem Durchmesser R der größeren festen Rolle ausfällt. Meist macht man die Differenz R — r so klein, daß die Reibung der Rollen in ihren Lagern und mit dem Seile (der Kette) genügt, ein Herabsinken der Last zu verhindern, wenn auch keine Kraft vorhanden ist, welche jener das Gleichgewicht hält.

Die Fig. 169 stellt einen Differential-Flaschenzug dar, wie er zur Hebung der verschiedensten Gegenstände häufig benutzt wird. Die größere, vorher mit R bezeichnete feste Rolle liegt vorn in der Bildebene und die zweite wenig kleinere feste Rolle hinter derselben.

Winden. Sind die Räder R′ und r′, R″ und r″, R und r der Fig. 170 auf drei Wellen festgekeilt, sodaß die auf gleichen Wellen sitzenden Räder gleich viel Umdrehungen machen, so wird ein bei V ausgeübter Zug sämmtliche Räder in Bewegung setzen und in Folge dessen das Gewicht P sich heben, wofern nur die

Fig 169.



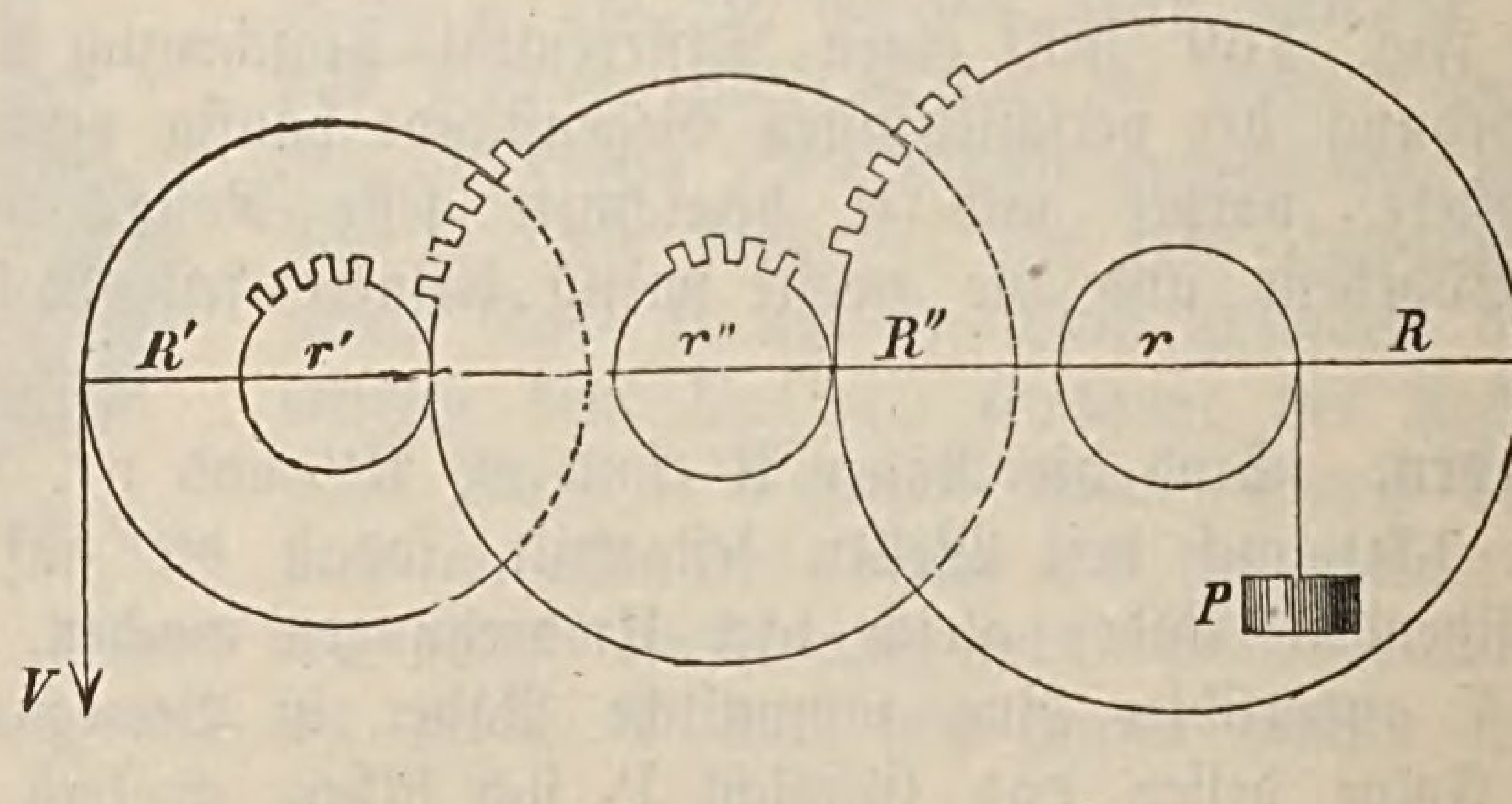
Differential-Flaschenzug

Reibung der Räder r′ und R″ und der Räder r″ und R in ihren Berührungspunkten genügt, ein Gleiten der Scheiben voreinander zu verhindern. Um dasselbe wirksam zu verhüten, ist ein bedeutender Druck der Scheiben gegeneinander erforderlich, sobald die Kräfte, mit denen man es zu thun hat, nur einigermaßen erheblich sind.

Zur Vermeidung dieses Uebelstandes und weil überdies ein erheblicher Druck auf alle Theile nur schädlich einwirken kann, versieht man meist jedes Rad an seinem Umfange mit vorspringenden Zähnen, welche in entsprechende Vertiefungen des gegenüberliegenden Rades passen. Sind diese Zähne so kräftig angeordnet, daß ihr Abbrechen nicht zu befürchten steht, so wird die Uebertragung der Kraft V nach der Bedarfsstelle P sicher erreicht.

Die Fig. 171 und 172 zeigen die Anordnung von Zahnrädern, wenn die Wellen, auf denen die Räder befestigt sind, nicht parallel nebeneinander herlaufen, sondern sich durchschneiden. Werden, Fig. 170, die Halbmesser der Räder in gleicher Weise wie die Räder selbst bezeichnet, so ergiebt sich die Kraft, mit welcher

Fig. 170.



das kleinere Rad r′ das größere R″ in dem Berührungspunkte zu drehen sucht, zu

$$V \cdot \frac{R'}{r'}.$$

Diese Kraft verstärkt sich in dem Verhältnisse von $\frac{R''}{r''}$ und endlich für den Angriffspunkt der Last P noch in dem weiteren Verhältnisse von $\frac{R}{r}$, es ist also für den Gleichgewichtszustand

$$P = V \frac{R'}{r'} \cdot \frac{R''}{r''} \cdot \frac{R}{r}.$$

Je zwei Räder, welche bei dieser und bei ähnlichen Anordnungen miteinander arbeiten, also für unsere Fig. 170 R″ und r′ und

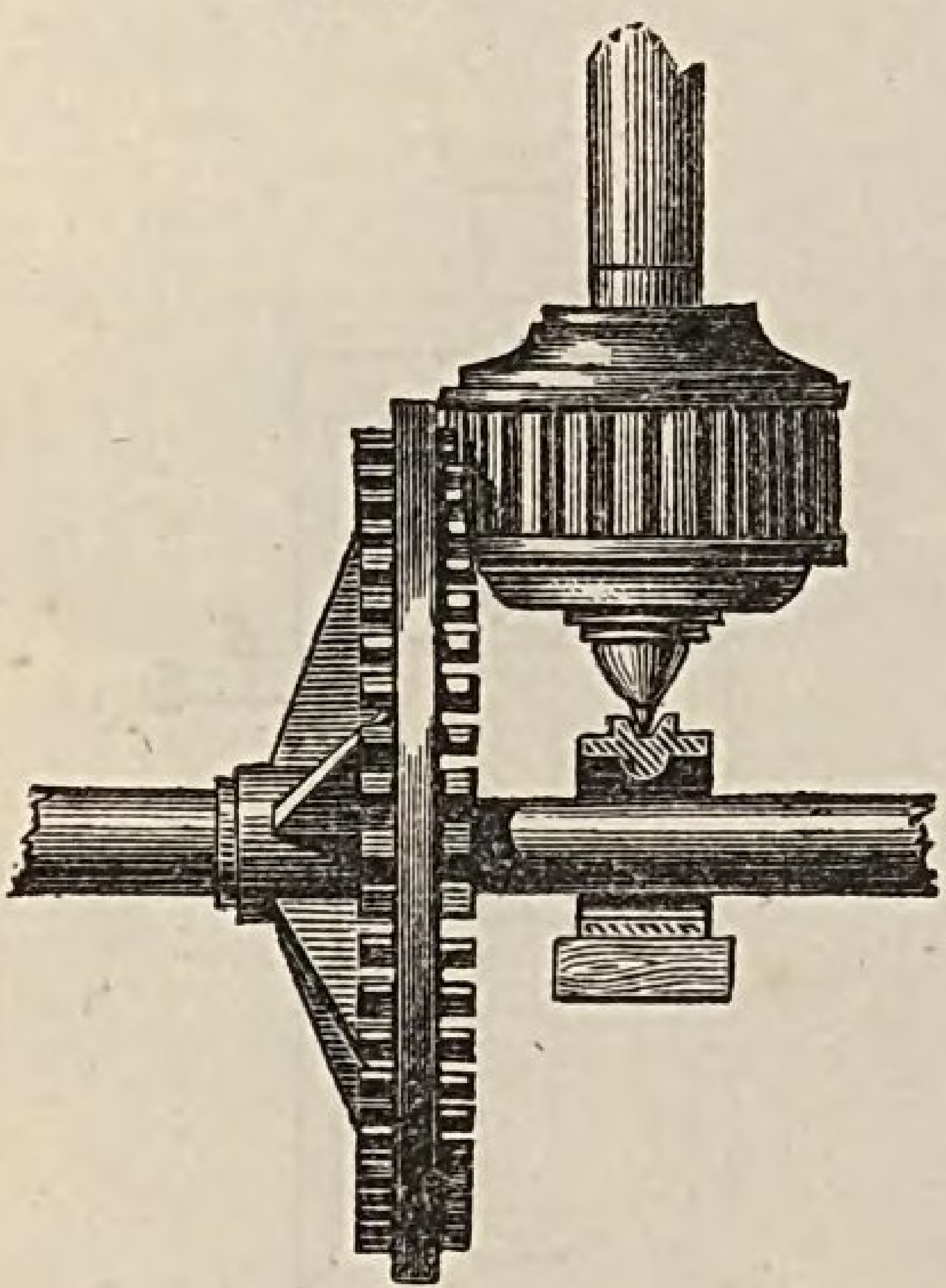


Fig. 171.

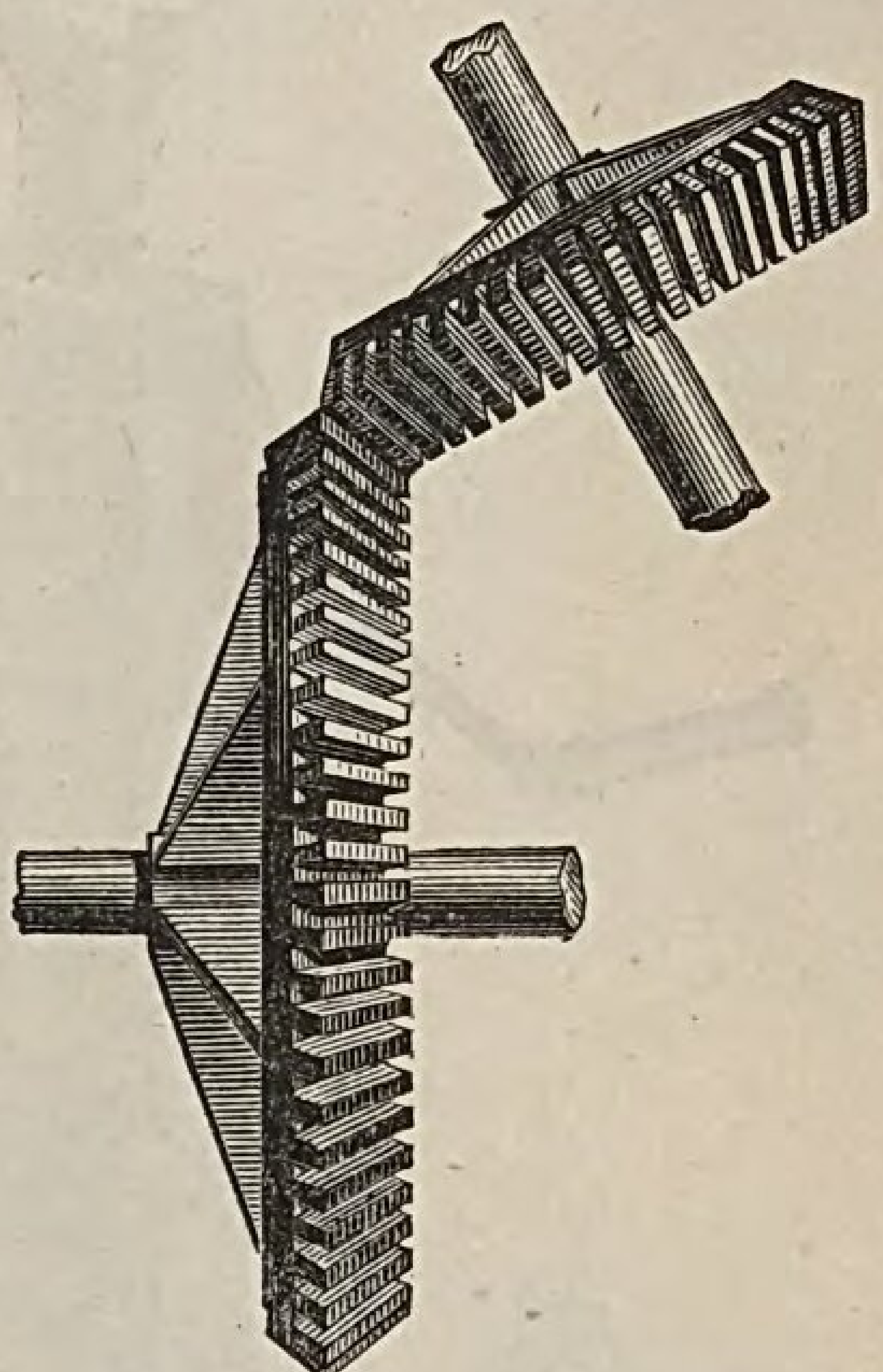


Fig. 172.

ferner R und r″, werden Vorgelege und die zu ihrer Aufnahme dienenden Wellen Vorgelegewellen genannt. Die Verhältnisse der Halbmesser der Räder $\frac{R''}{r'}$ und $\frac{R}{r''}$ nennt man die Uebersetzungsverhältnisse der Räder. Statt der Halbmesser ist meist die Einführung der Zähnezahlen der Räder in die Rechnung bequemer. Bezeichnen z′, Z″, z″ und Z die Zahl der Zähne der Räder r′, R″, r″ und R, so verhalten sich

$$\frac{R''}{r'} = \frac{Z''}{z'} \text{ und } \frac{R}{r''} = \frac{Z}{z''},$$

es ist demnach auch

$$P = V \frac{R'}{r} \cdot \frac{Z''}{z'} \cdot \frac{Z}{z''}.$$

Die Fig. 173 zeigt die perspectivische Ansicht einer **Wagenwinde,** deren innere Einrichtung aus der Skizze 174 zu ersehen ist. Die mit der Winde zu hebende Last P ergiebt sich, wenn von Reibungswiderständen abgesehen wird, aus dem Halbmesser R′ des Kurbelkreises und den Halbmessern r′, R und r der Zahnräder zu

$$P = V \cdot \frac{R'}{r'} \cdot \frac{R}{r},$$

wenn der Arbeiter mit einer Kraft V an der Kurbel drückt.

Fig. 173.

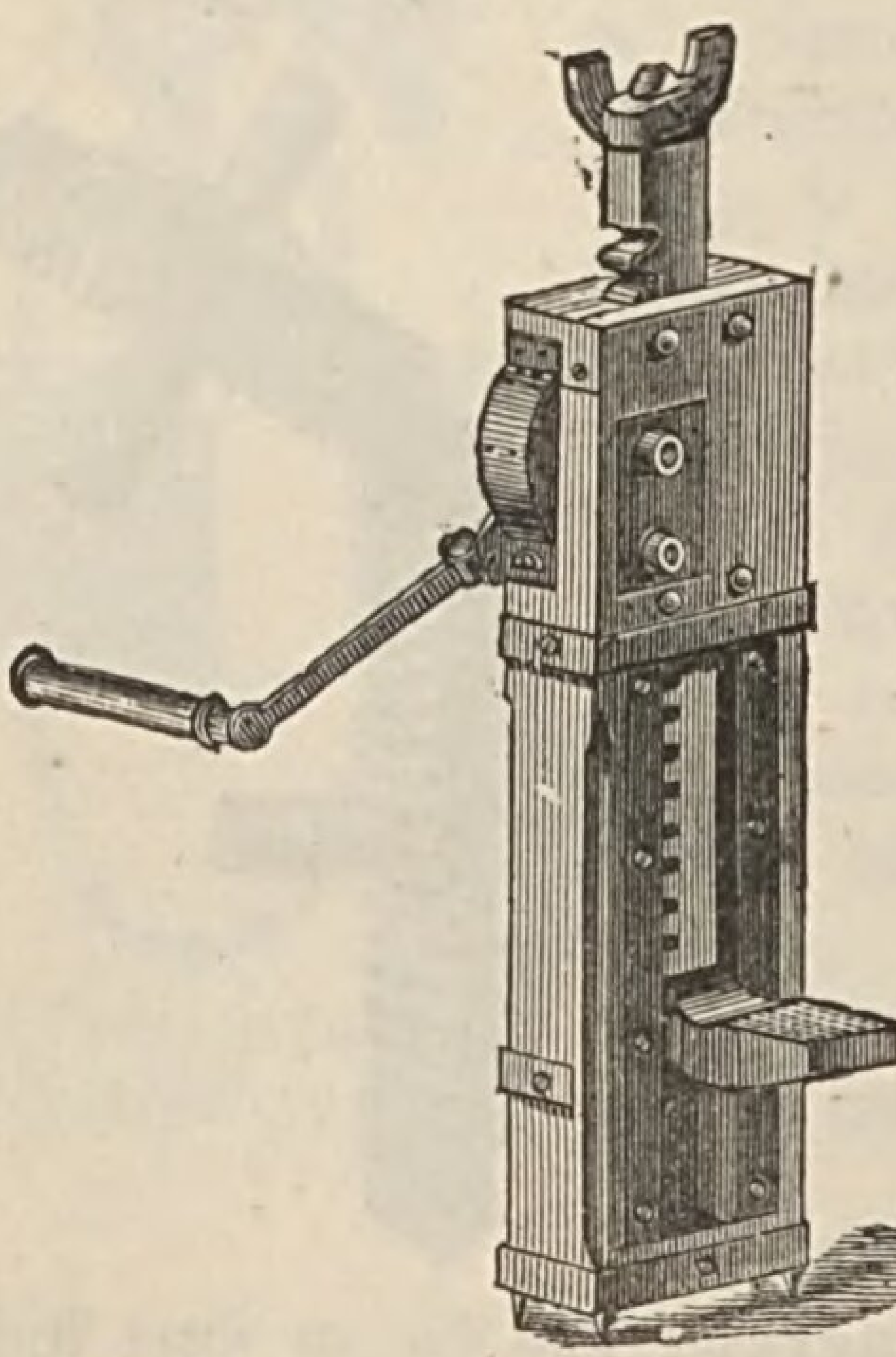
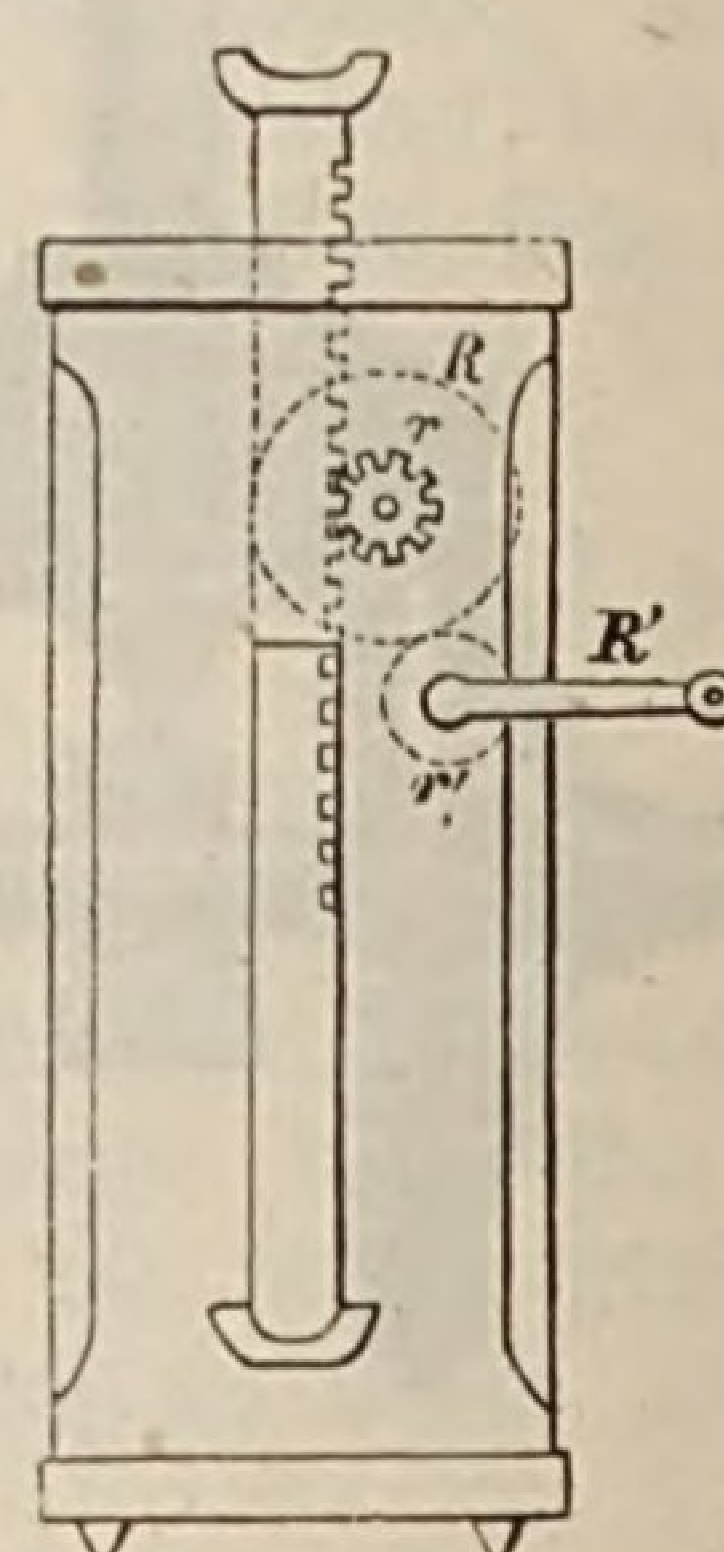


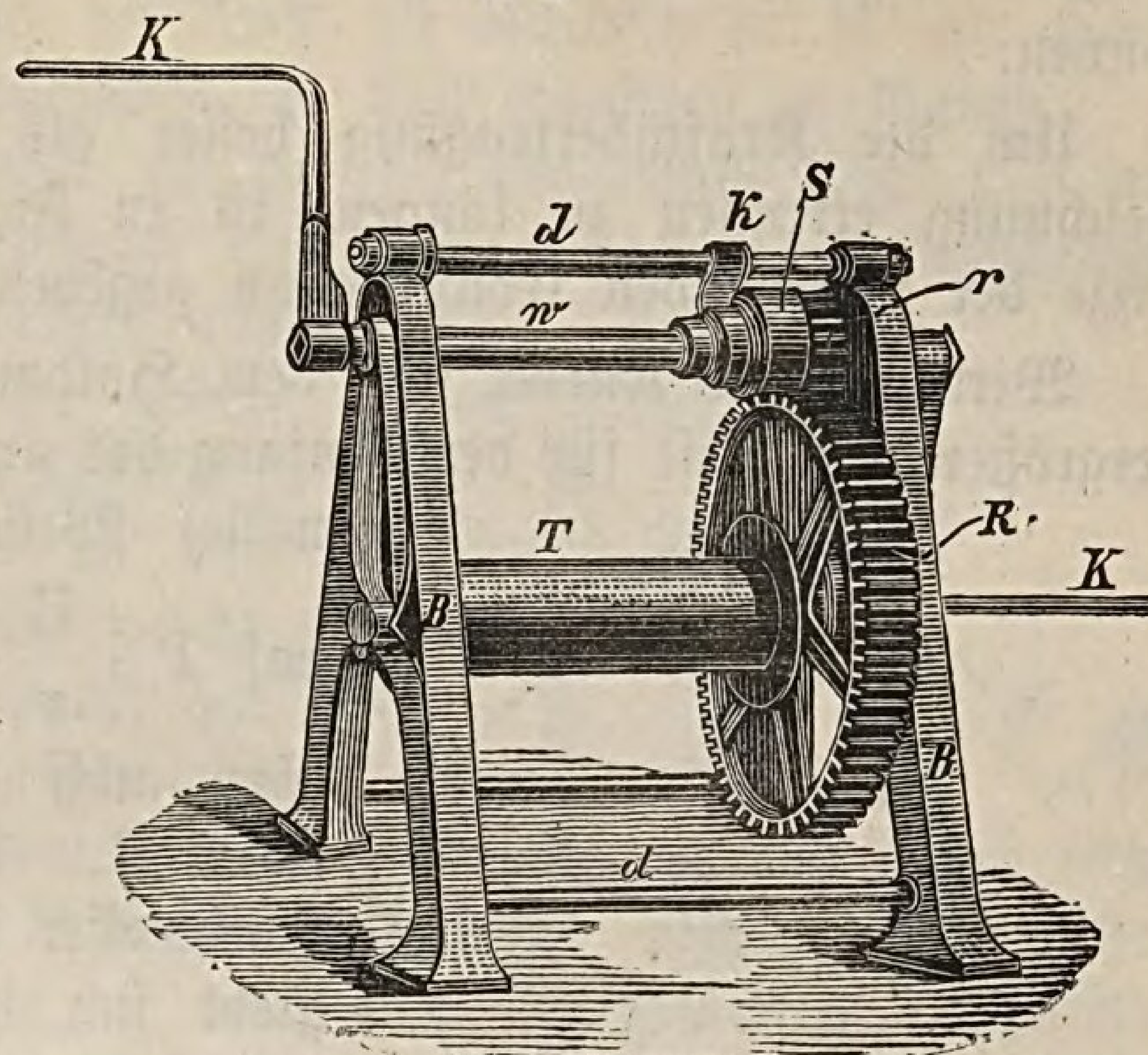
Fig. 174.



Wagenwinde.

Fig. 175 stellt eine **Bockwinde (Kabelwinde)** einfachster Form mit einfachem Vorgelege dar. Zwischen den gußeisernen Böcken B und B, welche oben und unten durch drei Querverbindungen d gegeneinander abgesteift sind, befindet sich die Seiltrommel T, mit welcher das Zahnrad R auf der gleichen Welle befestigt ist. In dieses größere greift das kleine Zahnrad r ein, das mit den beiden Kurbeln K und einem Sperrrade S auf der Welle w festsitzt.

Fig. 175.



Bockwinde mit einfachem Vorgelege.

Die Last Q, welche mit dieser Winde gehoben wird, berechnet sich aus dem Halbmesser h der Seiltrommel T, den Halbmessern (oder Zähnezahlen) R und r der Zahnräder und aus dem Halbmesser H jeder der beiden Kurbeln und dem Drucke P, mit welchem jeder der beiden Arbeiter an seiner Kurbel arbeitet, zu

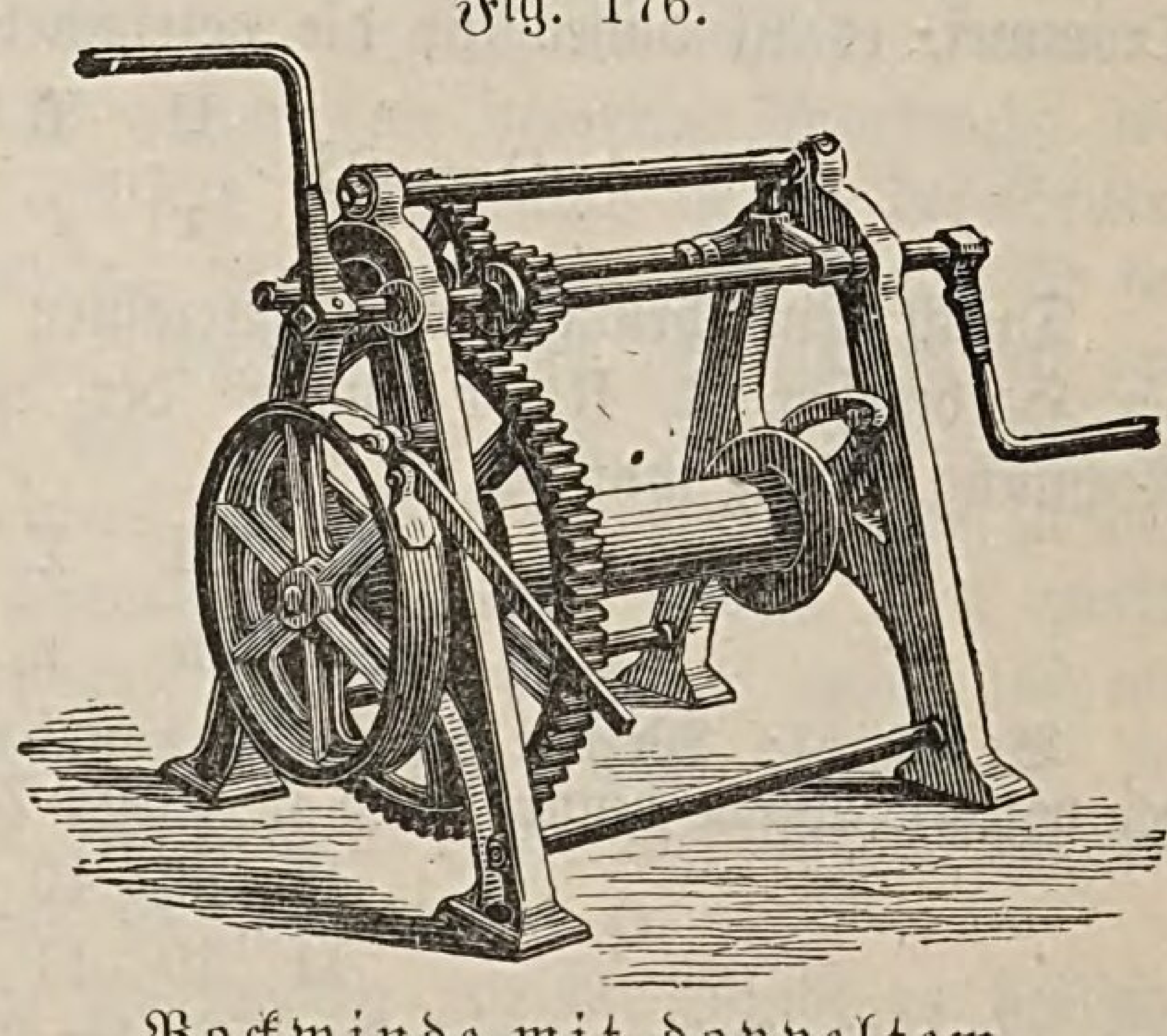
$$Q = 2P \frac{H}{r} \cdot \frac{R}{h} \cdot$$

Beispiel: Ein Mann arbeitet dauernd an einer Kurbel mit einer Kraft = 10 kg. Die Länge der Kurbel nimmt man zweckmäßig zu 400 bis 500 mm. Für P = 15 kg, H = 40 und h = 10 cm, und für Zahnräder mit 11 und mit 80 Zähnen ist, wenn kein Flaschenzug zur Anwendung kommt, nach der letzten Formel

$$Q = 2 . 15 \frac{40}{11} \cdot \frac{80}{10} = 773 \text{ kg}.$$

Wegen der Reibung der Zähne miteinander, der Wellen in ihren Lagern und wegen der zu überwindenden Steifigkeit der Seile fällt Q um etwa 20% geringer aus als nach der Rechnung.

Fig. 176.



Bockwinde mit doppeltem Vorgelege.

Das auf der Vorgelegewelle w angebrachte Sperrrad S, in welches die mit k bezeichnete und auf der oberen Querverbindung der Böcke befestigte Sperrklinke greift, verhindert ein Zurückgehen der Last, wenn der Druck an den Kurbeln aufhört.

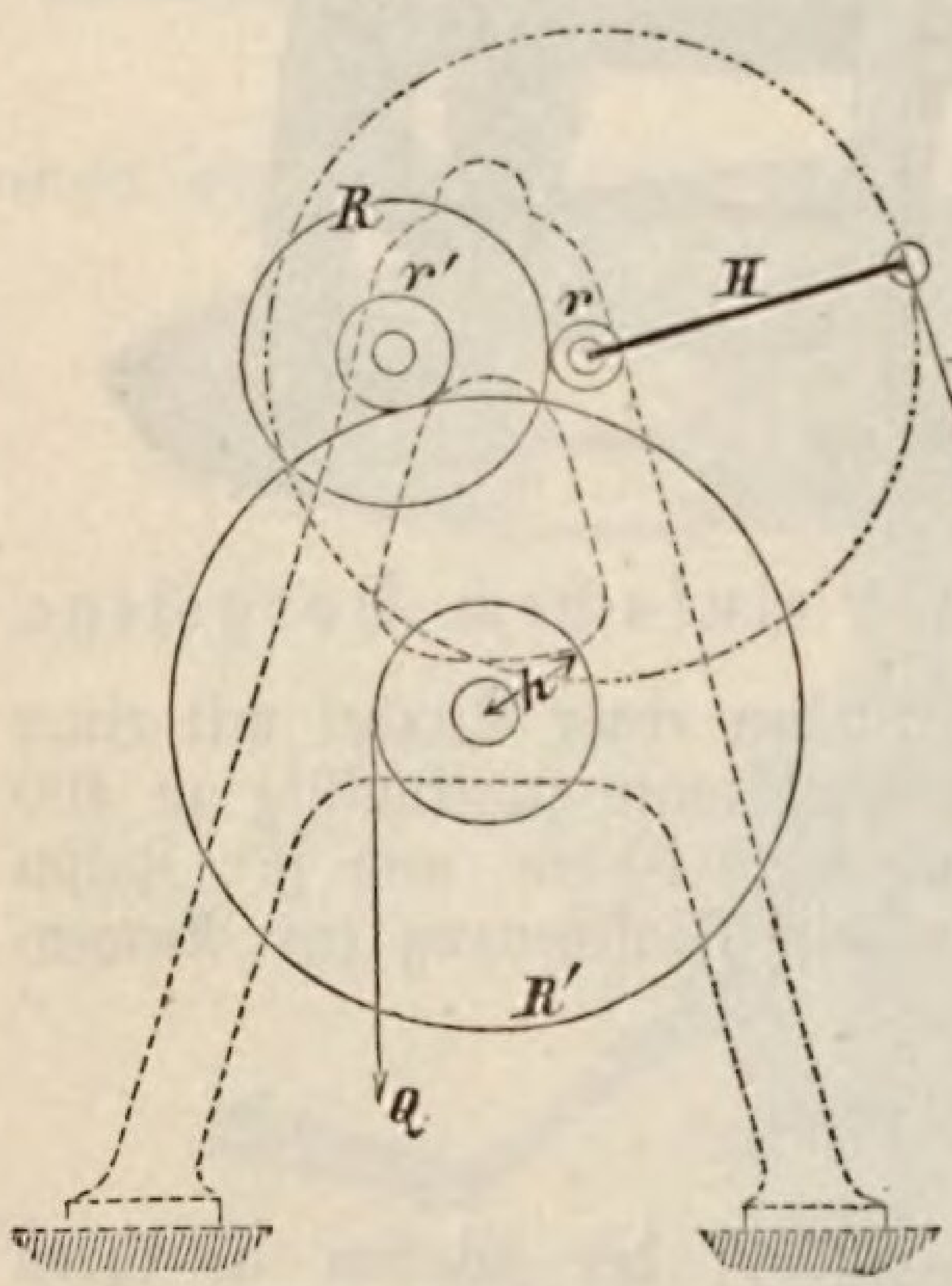
Die Bockwinde mit doppeltem Vorgelege der Fig. 176 dient zum Heben

größerer Lasten, als mit der vorigen Bockwinde bewältigt werden können.

Um die Kraftübertragung besser als aus der perspectivischen Zeichnung erkennen zu können, ist in Fig. 177 die Dispositionsskizze der betreffenden Construction gegeben.

Wirkt an der Kurbel mit dem Halbmesser H eine Kraft P, so vergrößert sich diese für den Umfang des auf der gleichen (der Kurbelwelle) Welle sitzenden Zahnrades r auf $P \cdot \frac{H}{r} \cdot$ Die gleiche Kraft wirkt aber auch am Umfange des Zahnrades R. Aus dem Verhältnisse der Halbmesser R und r′ zu einander ergiebt sich die Verstärkung der letztgefundenen Kraft mit Beziehung auf den Umfang des Zahnrades r′ zu $P \cdot \frac{H}{r} \cdot \frac{R}{r'}$ und mit Beziehung auf die Seiltrommel mit dem Halbmesser h zu

Fig. 177.



$$Q = P \frac{H}{r} \cdot \frac{R}{r'} \cdot \frac{R'}{h}.$$

Sind, wie in Fig. 176, zwei Kurbeln vorhanden, an deren jeder ein Arbeiter mit der Kraft P angestellt ist, so verdoppelt sich abermals die Wirkung Q an der Trommel, es ist daher für die gezeichnete Anordnung

$$Q = 2P \cdot \frac{H}{r} \cdot \frac{R}{r'} \cdot \frac{R'}{h}.$$

Durch Einführung der Zähnezahlen Z, Z′ z und z′ an Stelle der Halbmesser R, R′, r und r′ der entsprechenden Räder in die Rechnung erhält man Q zu

$$Q = 2P \cdot \frac{H}{h} \cdot \frac{Z}{z} \cdot \frac{Z'}{z'}.$$

Beispiel: Werden für P, H, r und R die gleichen Zahlen wie bei der vorigen Winde benutzt, und ist ferner $Z' = 40$ und $z' = 11$, so wird

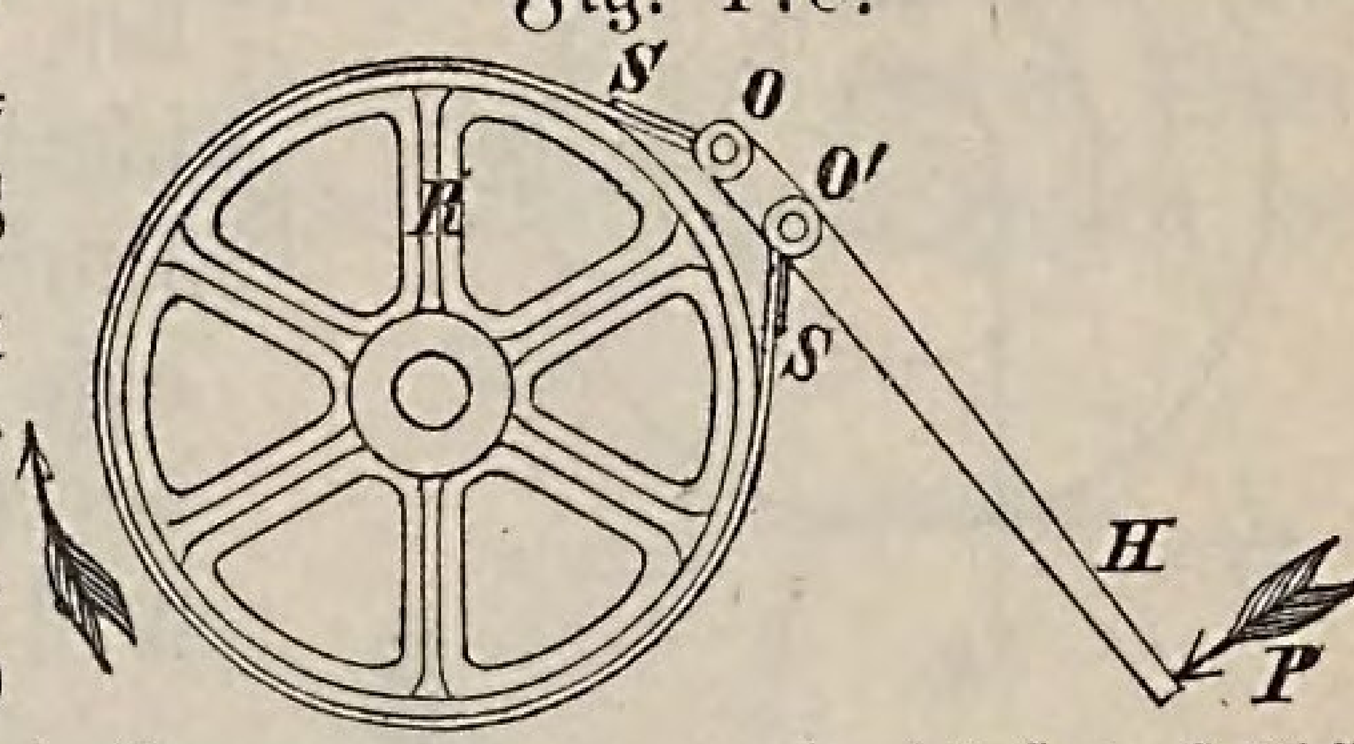
$$Q = 2 . 15 \frac{40}{11} \cdot \frac{80}{10} \cdot \frac{40}{11} = 3179 \text{ kg}$$

und, wenn für Reibungsverluste 25⁰/₀ der Kraft in Abzug gebracht werden, $Q = 2380$ kg.

Bei der Bockwinde nach der Fig. 175 müssen die Arbeiter während des Niederlassens der Last die Kurbeln K in der Hand behalten, um die Geschwindigkeit der Last reguliren zu können.

Zu dem gleichen Zwecke ist bei der Bockwinde Fig. 176 auf der Welle für die Seiltrommel eine Bremsscheibe angebracht. Eine solche, Fig. 178, besteht aus einem Rade R mit glatter Oberfläche, um welches ein Stahlband S gelegt ist, dessen Enden an dem Kniehebel H befestigt sind, welcher in O′ seinen festen Drehpunkt hat. Durch Niederdrücken des Hebels wird das eine Ende des Stahlbandes bei O angezogen und dieses selbst fest gegen den Umfang des Bremsrades gepreßt. Die in Folge dessen entstehende Reibung genügt, je nach dem am Hebel H ausgeübten Drucke, entweder die Bewegung der herabsinkenden Last zu verzögern oder auch gänzlich zu verhindern.

Fig. 178.



Um bei dem Niederlassen der Last durch die Bewegung der Kurbeln nicht behindert zu sein, kann die Kurbelwelle so weit in den Böcken verschoben werden, daß die Zahnräder r und R außer Eingriff kommen Die Bewegung der Last erfolgt im Verhältnisse zu der Geschwindigkeit, mit welcher an der Kurbel gearbeitet wird, um so langsamer, je größer das angewandte Uebersetzungsverhältniß der Räder zu einander ist. Diese Erscheinung wird leicht unbequem, wenn eine nur geringe Last gehoben werden soll. Man richtet aus diesem Grunde Hebevorrichtungen mit mehreren Vorgelegen häufig so ein, daß einzelne Vorgelege beliebig ausgeschaltet werden können.

Die Skizzen 179 bis 181 zeigen eine derartige Anordnung, wie sie für Winden und Krähne vielfach in Gebrauch ist, in der Seitenansicht und in zwei Grundrissen, von denen die nach Fig. 180 der Arbeit mit doppelten, und die nach Fig. 181 der Arbeit mit nur einem Vorgelege entspricht. Wie aus den Fig. 179 und 180 ersichtlich wird, greift das kleinere Zahnrad r der Kurbelwelle in das größere Zahnrad R der Vorgelegewelle, und bewegt das zweite kleinere Rad r″ auf der letzteren die Seiltrommel S durch das mit dieser fest verbundene große Zahnrad R′. Das größere r′ der beiden auf der Kurbelwelle festgekeilten Zahnräder bleibt auf die Bewegung der Trommel ohne Einfluß.

Die bei der dargestellten Anordnung mit der Winde zu hebende Last Q berechnet sich, wenn an beiden Kurbeln mit der Kraft P

gearbeitet wird, zu

$$Q = 2\,P\,\frac{H}{r} \cdot \frac{R}{r''} \cdot \frac{R'}{h}.$$

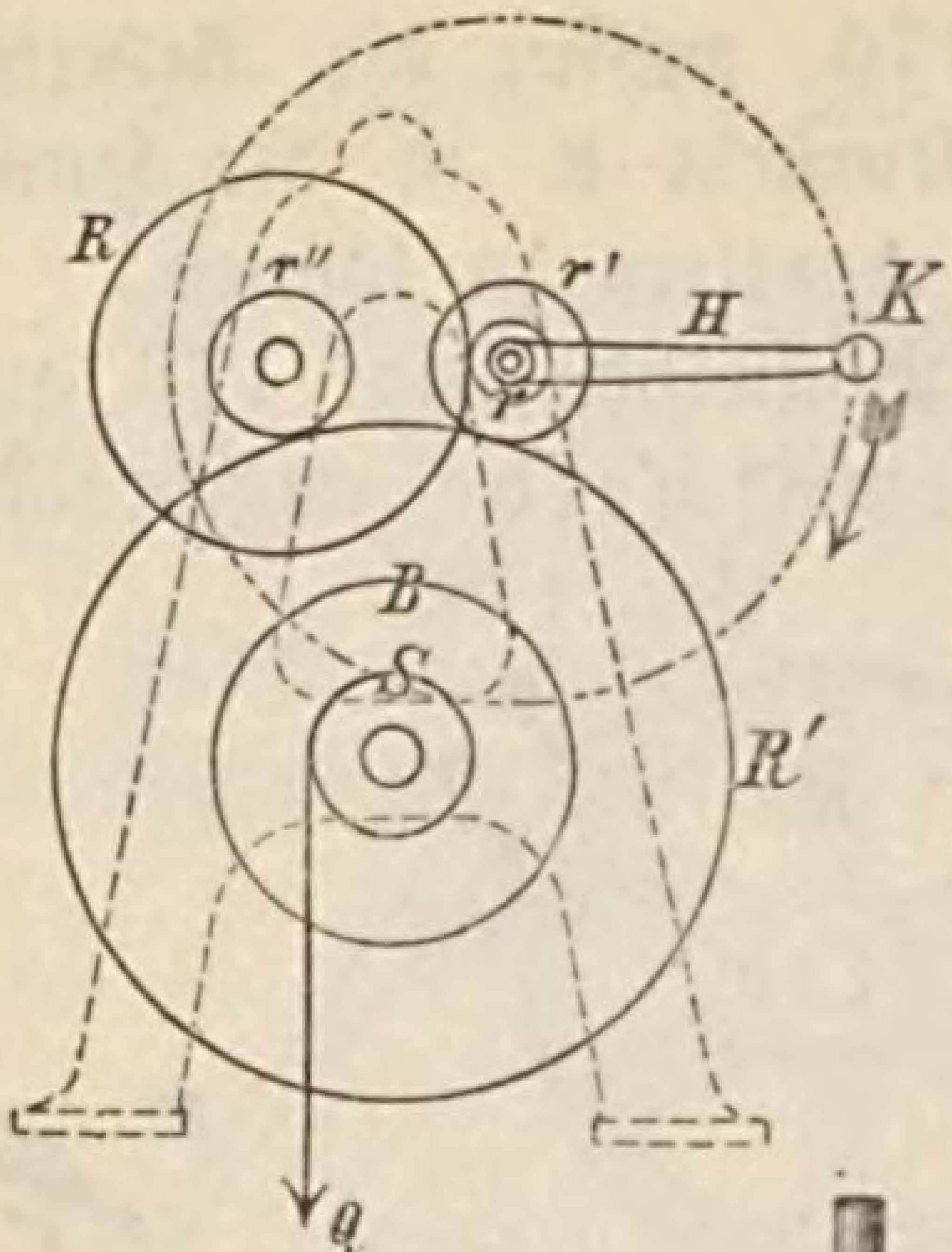


Fig. 179.

In der Grundrißzeichnung 181 ist die Winde dargestellt, nachdem sie zum Heben kleinerer Lasten mit größeren Geschwindigkeiten vorgerichtet wurde. Die Kurbelwelle ist dabei so weit verschoben, daß die Räder r und R außer, und daß dagegen die Räder r′ und R′ in Eingriff kommen.

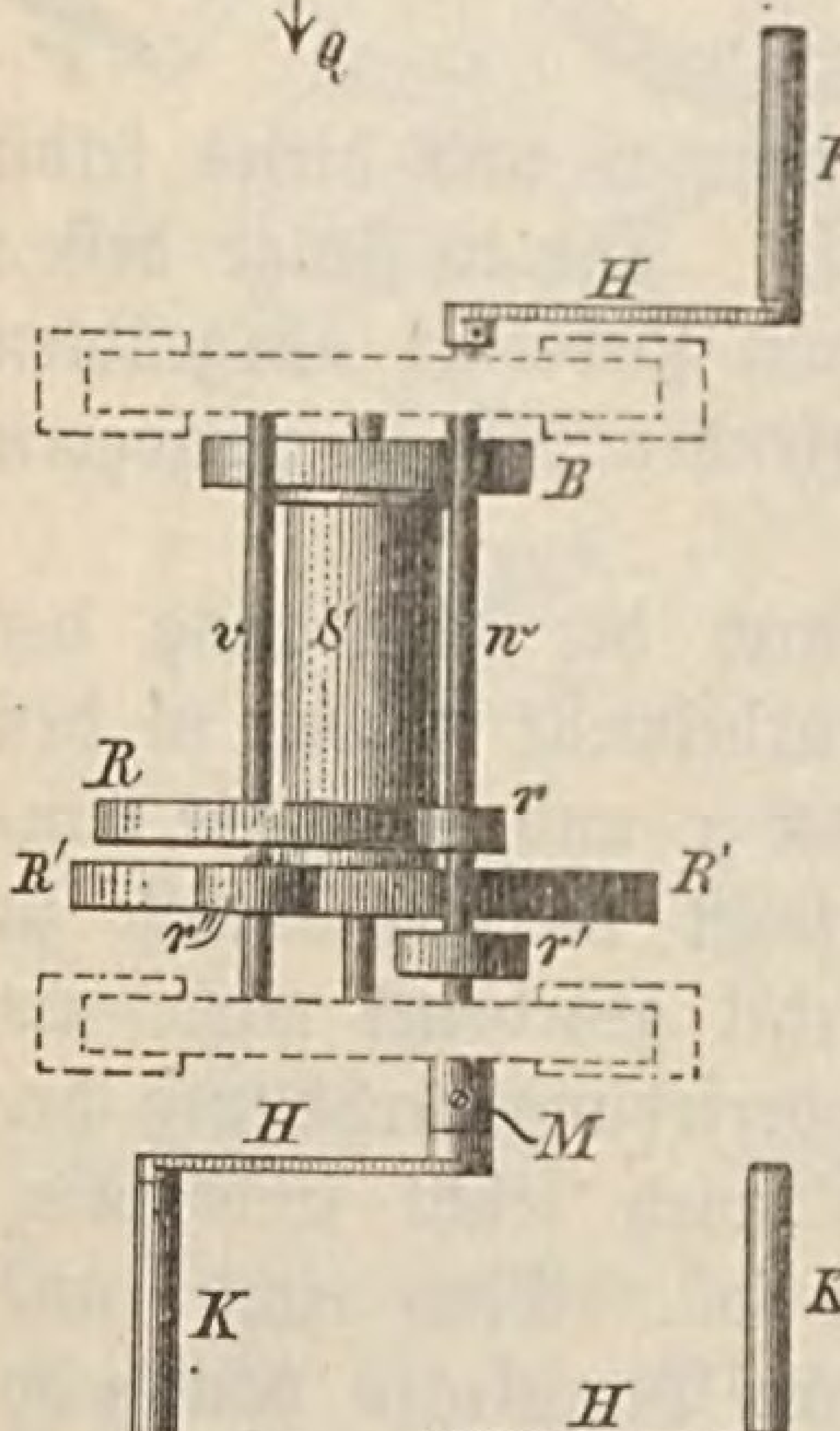


Fig. 180.

Die drei Räder r″, R und r und die Vorgelegewelle v beeinflussen bei dieser Stellung der Räder die Kraftübertragung von der Kurbelwelle auf die Seiltrommel in keiner Weise. Die Vorgelegewelle v wird sich zwar, da die Räder r″ und R′ nicht außer Eingriff gekommen sind, mit der Seiltrommel drehen, aber ohne daß durch diese Drehung die auf die Seiltrommel ausgeübte Kraft vermehrt oder vermindert wird.

Die Beziehung zwischen der an jeder der beiden Kurbeln wirkenden Kraft P und der zu hebenden Last ergiebt sich in einfacher, den früheren Ermittelungen gleicher Weise zu

$$Q = 2\,P\,\frac{H}{r'} \cdot \frac{R'}{h}.$$

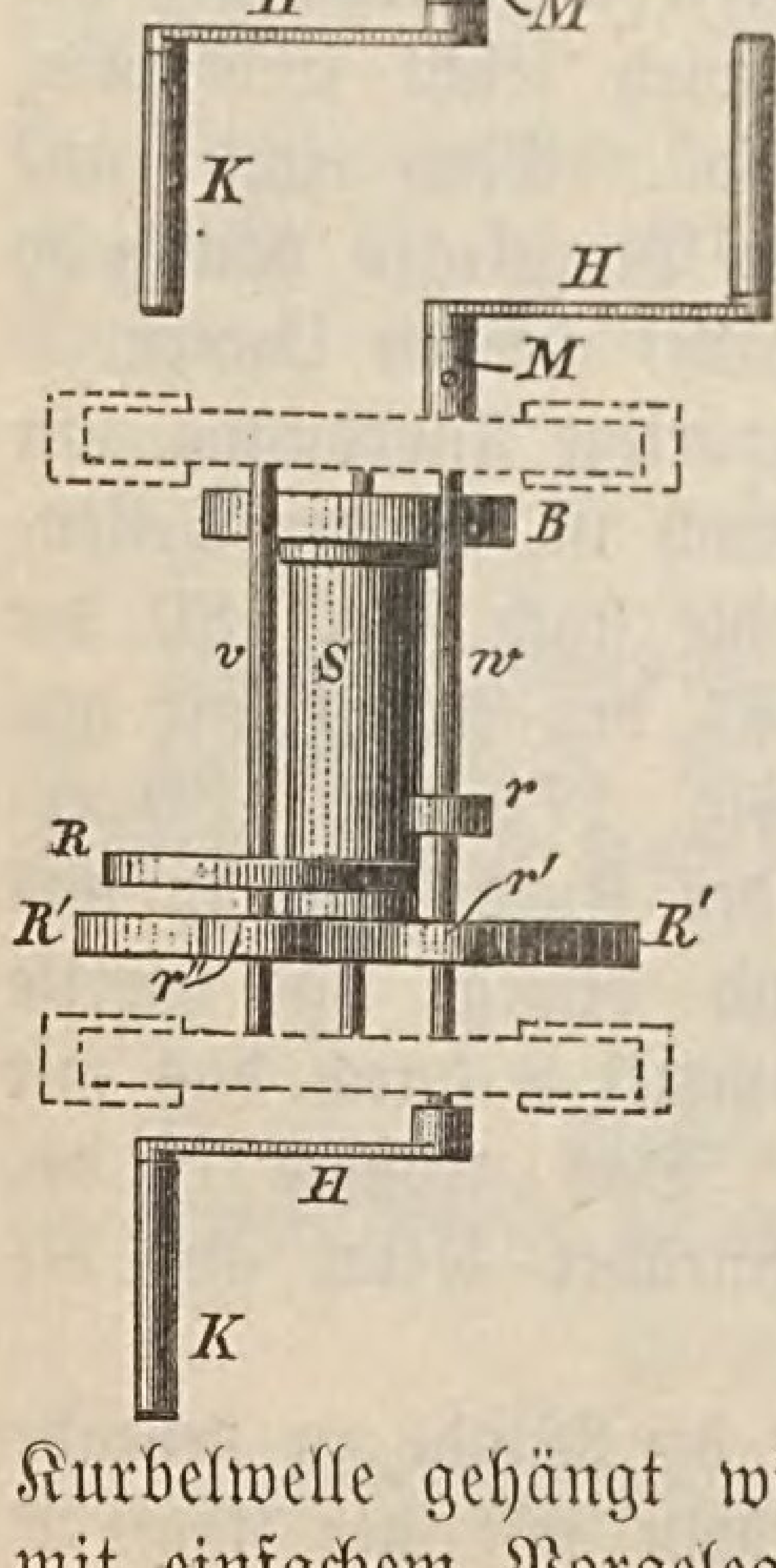


Fig. 181.

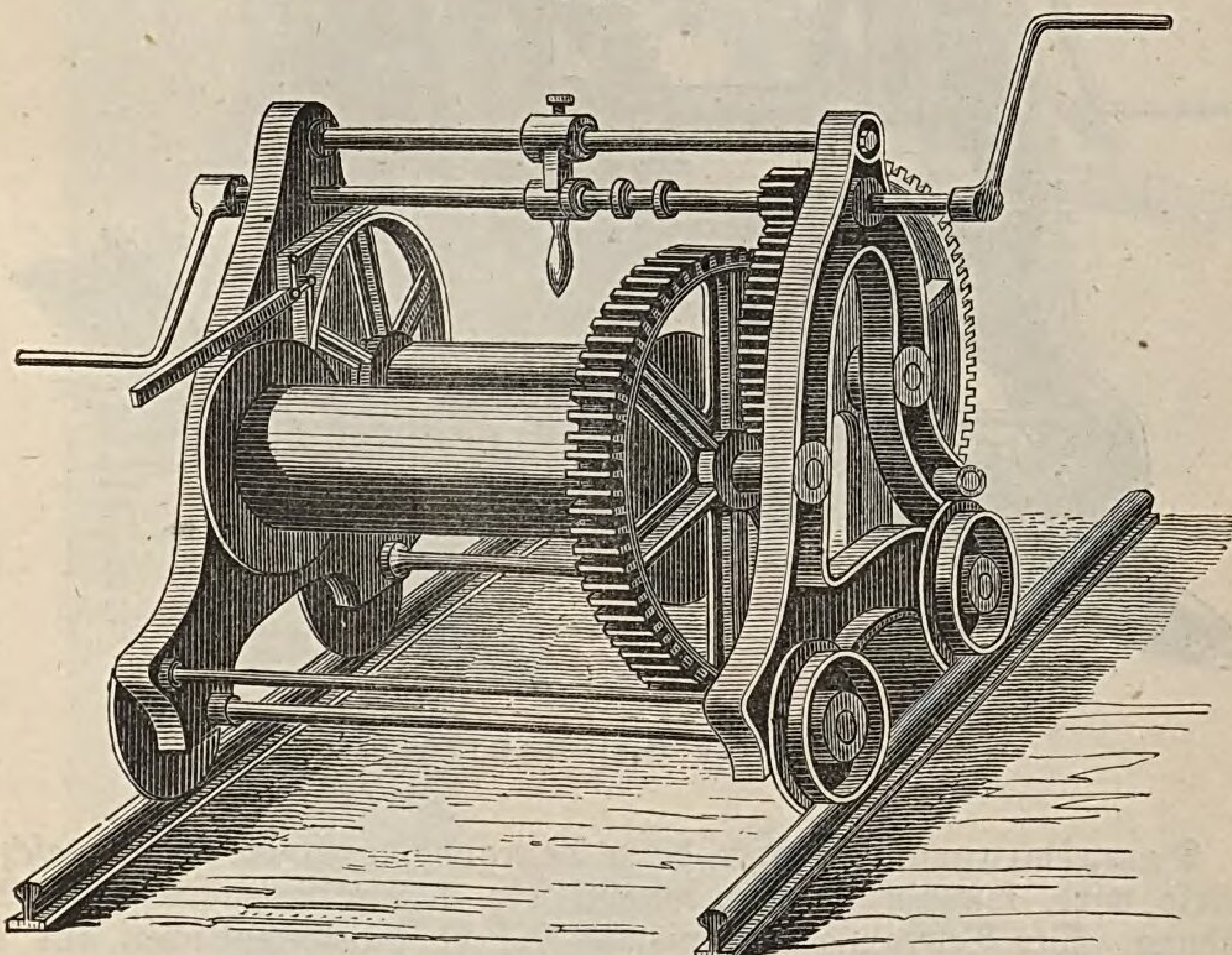
Damit sich die Kurbelwelle w während des Arbeitens nicht aus ihrer vorgeschriebenen Lage verschiebt, pflegt man sie durch eine übergeworfene Klinke oder eine aufgesteckte Klaue M zu sichern.

Je nachdem diese bei dem einen oder bei dem anderen Bocke in durch die Zeichnung angedeuteter Weise über die Kurbelwelle gehängt wird, arbeitet die Winde mit doppeltem oder mit einfachem Vorgelege.

Die Fig. 182 und 183 zeigen Bockwinden mit doppelten Vorgelegen und Bremsen, die auf Laufrollen fortbewegt werden können.

Bei der Winde Fig. 182 erfolgt die Bewegung direct durch Schieben oder Ziehen, und bei der Winde Fig. 183 indirect durch Vermittelung der Kurbeln. Die Anordnung ist so getroffen, daß bei der gezeichneten Lage der Klaue, welche an der oberen Quer=versteifung der Böcke befestigt ist, die Winde allein zum Heben von Lasten dient.

Fig. 182.



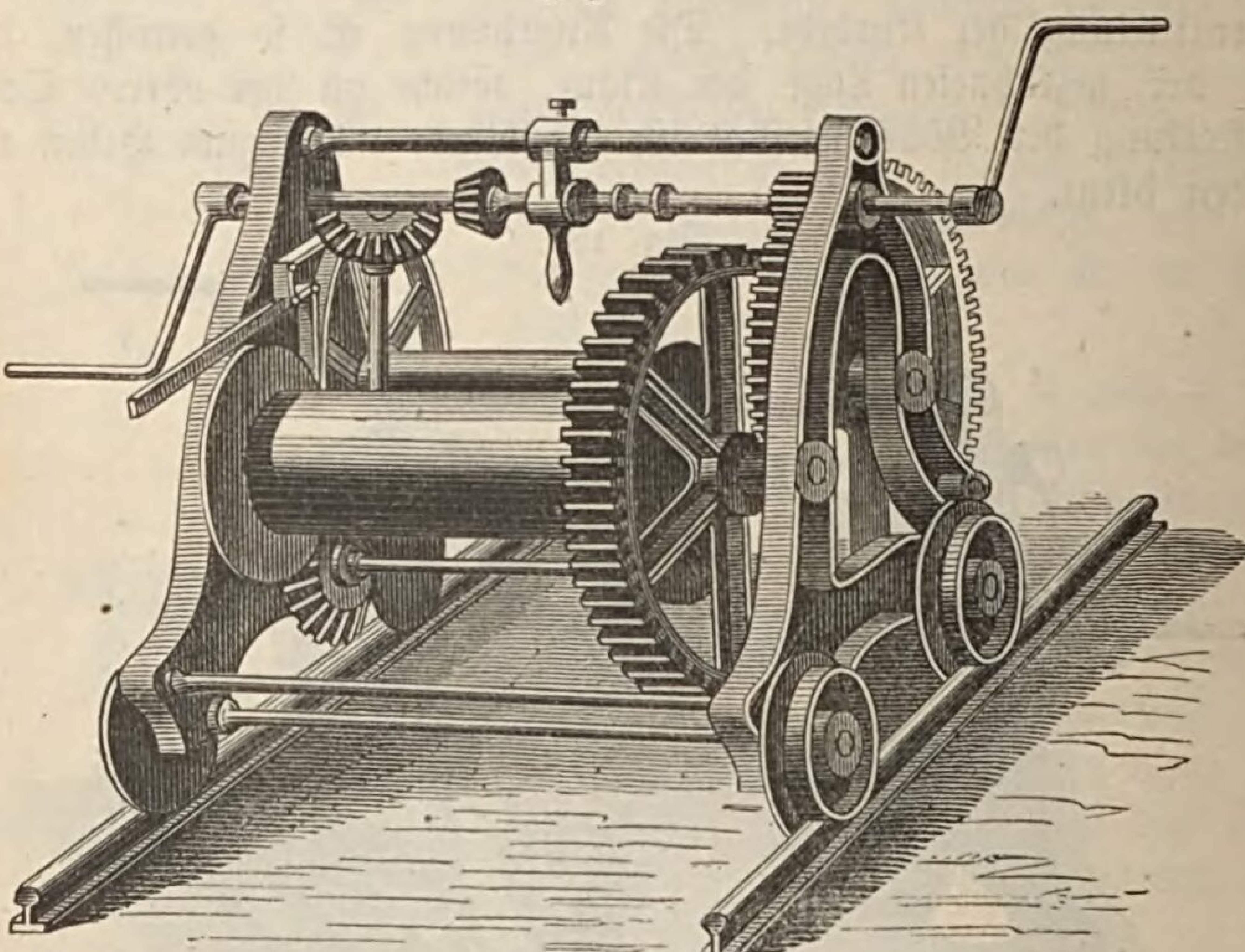
Bockwinde auf Laufrollen.

Wird die Vorgelegewelle so weit nach links verschoben, daß die Klaue zwischen den nächsten beiden Bunden der Kurbelwelle liegt, so kommt das auf der gleichen Welle sitzende kleine Zahnrad mit dem größeren Zahnrade der Vorgelegewelle außer Eingriff, und so die Seiltrommel mit den Kurbeln außer Verbindung. Die Winde dient in dieser Stellung zum Niederlassen von Lasten, was mit Hülfe der auf der Vorgelegewelle sitzenden Bremsscheibe bewirkt werden kann.

Rückt die Kurbelwelle noch weiter nach links, so daß sich die Klaue hinter die drei Bunde legt, so gelangt das kleine conische Rad der Kurbelwelle mit dem größeren conischen Rade der verticalen Welle in Eingriff. Diese Welle überträgt mittelst weiterer Zahnräder die

Bewegung auf die eine Laufachse der Winde und bewegt so den Krahn selbst, je nach der Richtung, in welcher die Kurbeln gedreht werden, vorwärts und rückwärts.

Fig. 183.



Bockwinde auf Laufrollen.

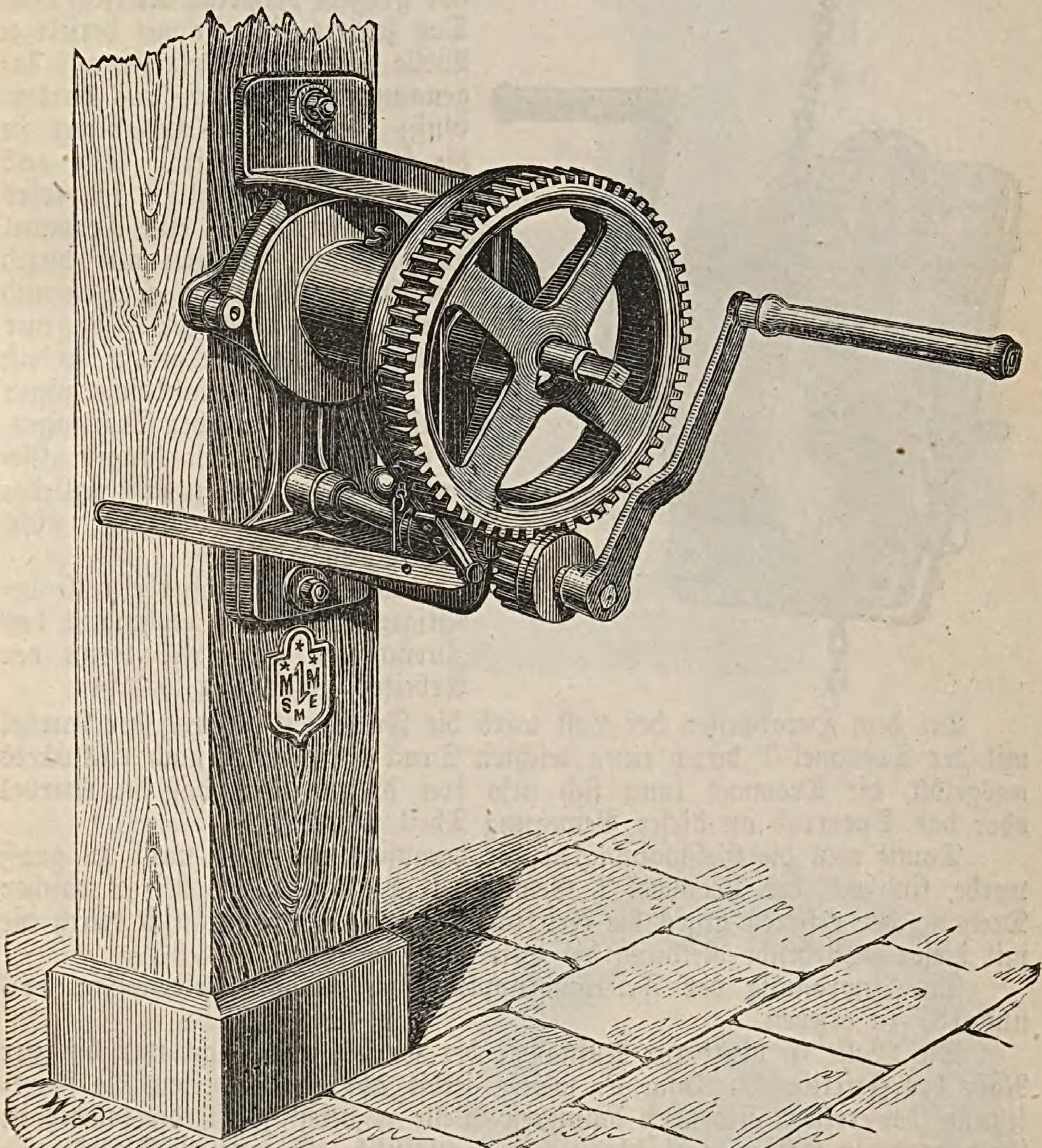
Dampfwinden. Winden, deren Bewegung durch eine Dampfmaschine bewirkt wird, kommen im Eisenbahnbetriebe nur ausnahmsweise zur Anwendung. Der Bewegungsmechanismus besteht im Wesentlichen aus den gleichen Theilen wie der der Dampfkrähne, welche später besprochen werden sollen.

Wandaufzugmaschinen. Die Fig. 184 stellt eine Aufzugvorrichtung dar, welche ihrer ähnlichen Construction wegen mit bei den Winden angeführt werden soll. Wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, dient ein gußeiserner Rahmen sowohl als Gestell für die Windevorrichtung, als auch zur Befestigung derselben an einer Säule.

Die Bremsscheibe ist mit dem größeren Zahnrade in einem Stück gegossen und auf der Welle mit der Seiltrommel festgekeilt. Der Antrieb erfolgt durch das kleine, mit der Kurbel auf der gleichen Welle sitzende Zahnrad, es kann aber auch, wenn es sich um nur geringe Lasten handelt, die Kurbel direct auf die Welle für die Seiltrommel gesteckt und so das Vorgelege ausgeschaltet werden. Das Sperrrad mit der Sperrklinke befinden sich auf der Rückseite der Seiltrommel, wo die Sperrklinke deutlich zu erkennen ist.

Wenn schon die Handhabung einer Winde bei dem Herunterlassen der Last, selbst bei dem Vorhandensein eines Sperrades und einer Bandbremse nicht ungefährlich ist, so wächst die Gefahr noch erheblich, wenn bei dem Anwinden der Winde aus irgend einer Veranlassung ein Constructionstheil derselben bricht.

Fig. 184.

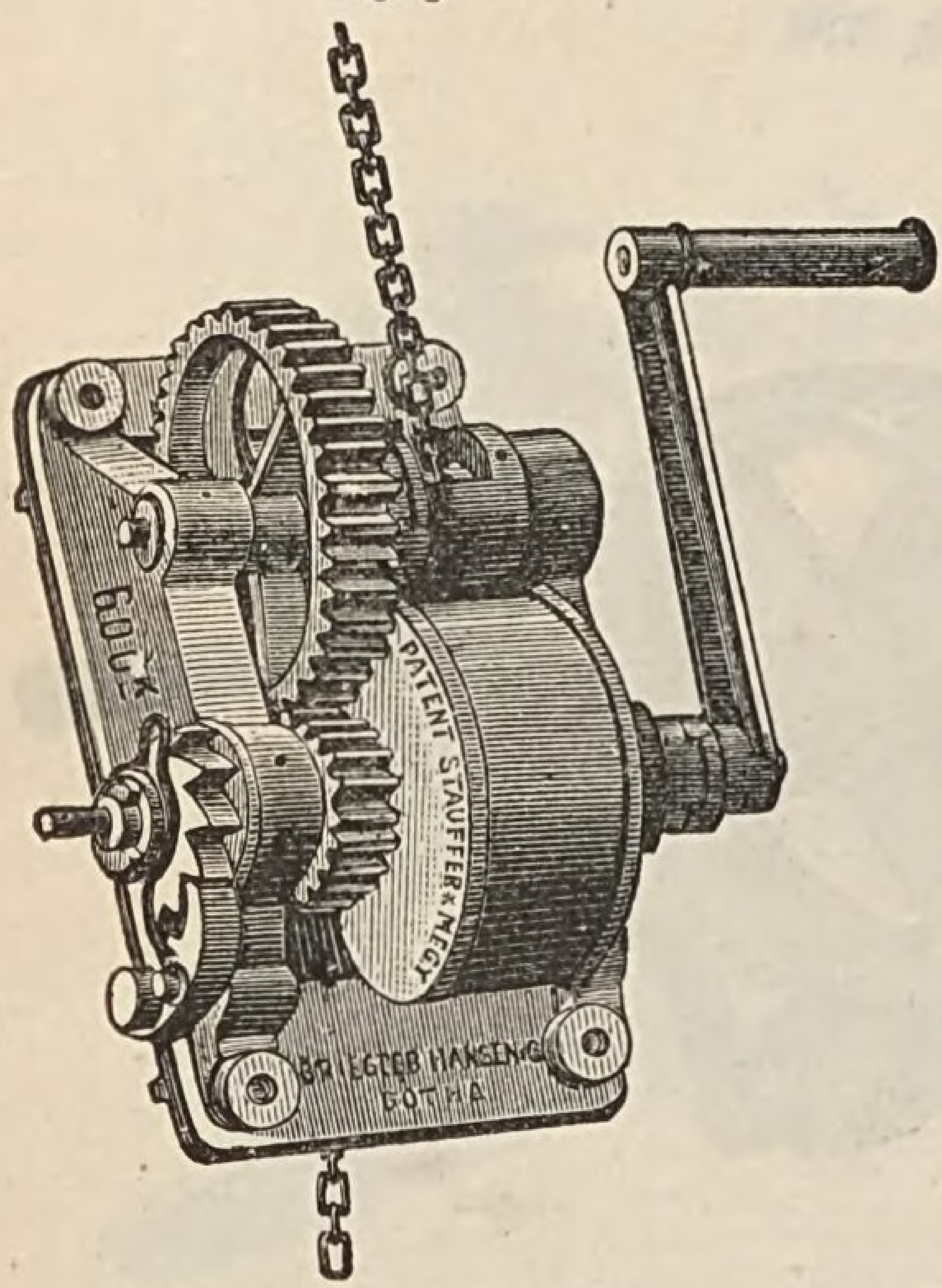


Wandaufzugmaschine.

Es sind verschiedene Constructionen zur Ausführung gekommen, welche theils die Geschwindigkeit der herabsinkenden Last selbstthätig mäßigen und reguliren, theils das Heben für die Vorrichtung zu schwerer Lasten ausschließen, oder welche endlich beide Zwecke gleichzeitig erfüllen. Eine Windevorrichtung letzterer Art, wie sie von Stauffer und Megy construirt wurde, stellen die Fig. 185, 186 und 187 dar.

Zum Heben der Last wird die Kurbelwelle K in gewohnter Weise vorwärts gedreht, wobei eine innerhalb der Trommel T, Fig. 186 und 187, angebrachte Frictionskupplung F die Trommel mitnimmt. Mit dieser Trommel T ist das Zahnrad Z in einem Stück gegossen, es dreht sich also

Fig. 185.



auch dieses mit der Handkurbel und überträgt die Bewegung auf das größere Zahnrad der Fig. 185. Das letztere Rad ist auf derselben Welle mit einem Getriebe aus sogenanntem Kettenguß (aus hartem Guß) befestigt, welches direct in die Lastkette eingreift. Wie aus der Fig. 185 ersichtlich ist, wird die Kette nicht auf eine Trommel aufgewunden, sondern nur durch den Apparat hindurch gezogen und werden dabei von der Nuß nur wenige Kettenglieder gefaßt, so daß die bei Differentialflaschenzügen häufiger vorkommenden Störungen, wenn in Folge von langem Gebrauche die einzelnen Kettenglieder sich gestreckt haben sollten, nicht vorkommen.

Das auf der Kurbelwelle befestigte Sperrrad S verhindert das Zurückgehen der Last, wenn der Arbeiter die Kurbel losläßt.

Bei dem Herablassen der Last wird die Frictionskupplung der Kurbel mit der Trommel T durch einen leichten Druck der Kurbel nach rückwärts ausgelöst, die Trommel kann sich also frei drehen, ohne daß die Kurbel oder das Sperrrad an dieser Bewegung Theil nehmen.

Damit nun die Geschwindigkeit der herabsinkenden Last nicht zu groß werde, sind mit der Trommel T Gewichte G verbunden, die bei zu rascher Drehung der ersteren gegen die Frictionskupplung F drücken und durch die mit dieser entstehende Reibung die Bewegung hemmen.

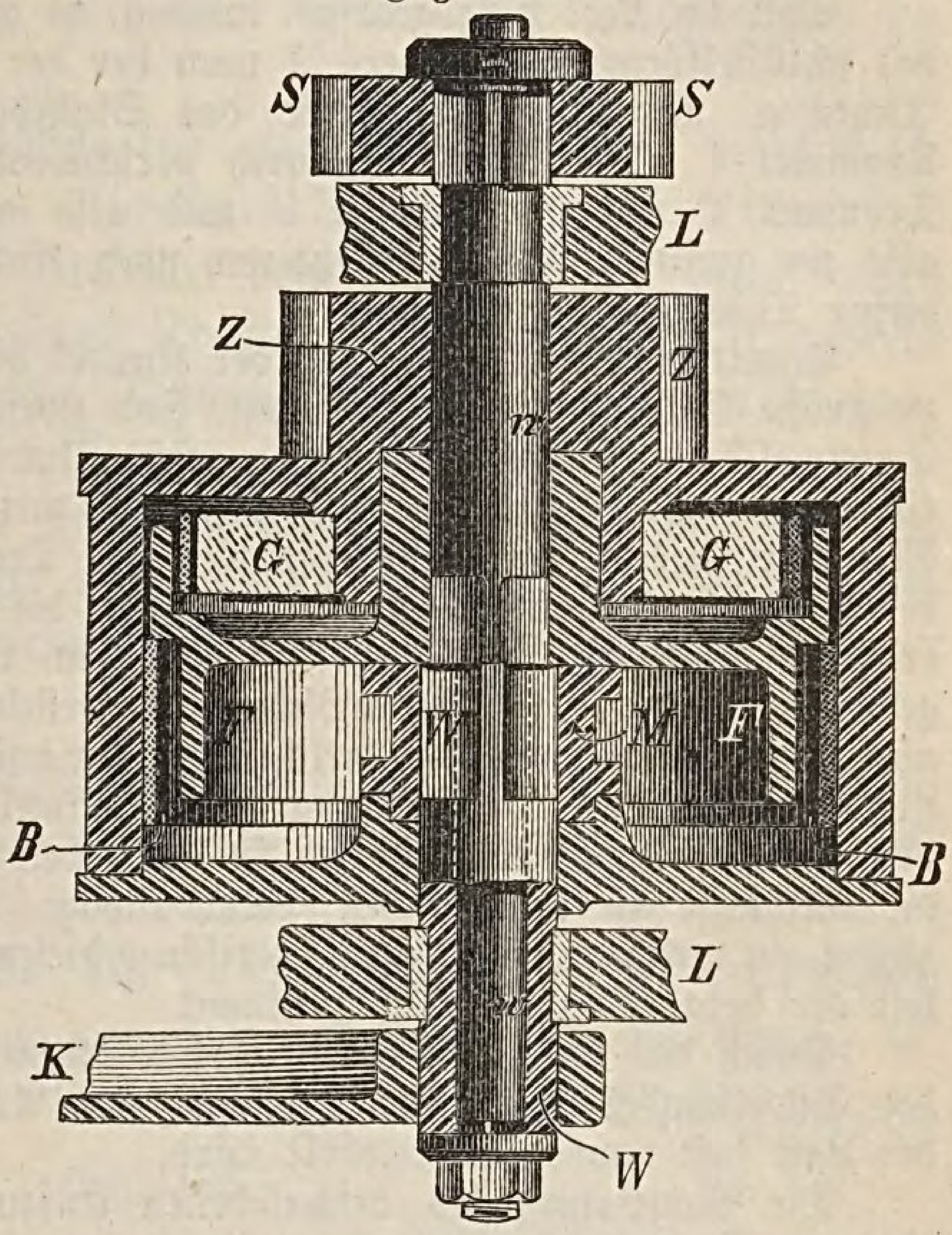
Die Anordnung der Frictionskupplung ist aus den beiden Fig. 186 und 187 zu ersehen.

Die Welle W dient zur Aufnahme der Kurbel und reicht nur bis zur Nabe der Frictionskupplung F, welche selbst auf einer zweiten, die Fortsetzung der ersten bildenden dünneren Welle w befestigt ist, die wieder in ihrer vorderen Hälfte die hohle Welle W ausfüllt. Soweit die Anordnung bis jetzt beschrieben ist, können sich beide Wellen unabhängig von einander drehen und bewirkt weder die Drehung der einen noch die der anderen zugleich auch die Drehung der Trommel T und des mit dieser verbundenen Zahnrades Z, es bleibt also die Drehung der Kurbel auf die Bewegung der an der Kette hängenden Last ohne Einfluß.

Es wurde nun bereits angedeutet, daß die Trommel T durch die Frictions- oder Reibungskupplung F bewegt wird. Der Vorgang ist dabei folgender. Um einen nach unten vorspringenden Rand der Scheibe F ist

das außen mit Leder überzogene Stahlband B gezogen, dessen eines Ende an der Scheibe F selbst befestigt ist, während an dem anderen frei liegenden Ende die in der Fig. 187 —·—·—·— gezeichnete Kette angreift. Vermöge der dem Stahlbande gegebenen Spannung hat dieses das Bestreben, sich fest an die äußere Trommel T zu pressen, es wird also, da es selbst mit der Scheibe F fest verbunden ist, vermöge der zwischen seinem Lederbelage und der Trommel T stattfindenden Reibung bei einer Drehung der Scheibe F auch die Trommel T mitnehmen, so lange die dieselbe zurückhaltende Last — hier also das Gewicht des zu hebenden Gegenstandes — nicht größer wird als diese Reibung. Tritt der letztere Fall ein, so dreht sich die Scheibe F mit der Welle w, ohne daß eine Bewegung der Last erfolgt; eine angemessene Spannung des Stahlbandes B verhindert also den Gebrauch der Windevorrichtung bei Gegenständen, welche für ihre Construction zu schwer sind.

Fig. 186.



Da die Handkurbel K auf der äußeren, die Frictionsscheibe F aber auf der inneren Welle befestigt sind, so ist noch ein Zwischenglied erforderlich, welches die Bewegung der ersteren auf die letztere überträgt. Dieses Zwischenglied bildet das schlüsselförmige Gußstück M, welches auf dem Vierkant der äußeren Welle W steckt.

Wie aus der Fig. 187 ersichtlich wird, legt sich das Gußstück M bei seiner durch die Pfeilrichtung angedeuteten Bewegung alsbald gegen einen der Frictionsscheibe F angegossenen Vorsprung und überträgt so die Bewegung der

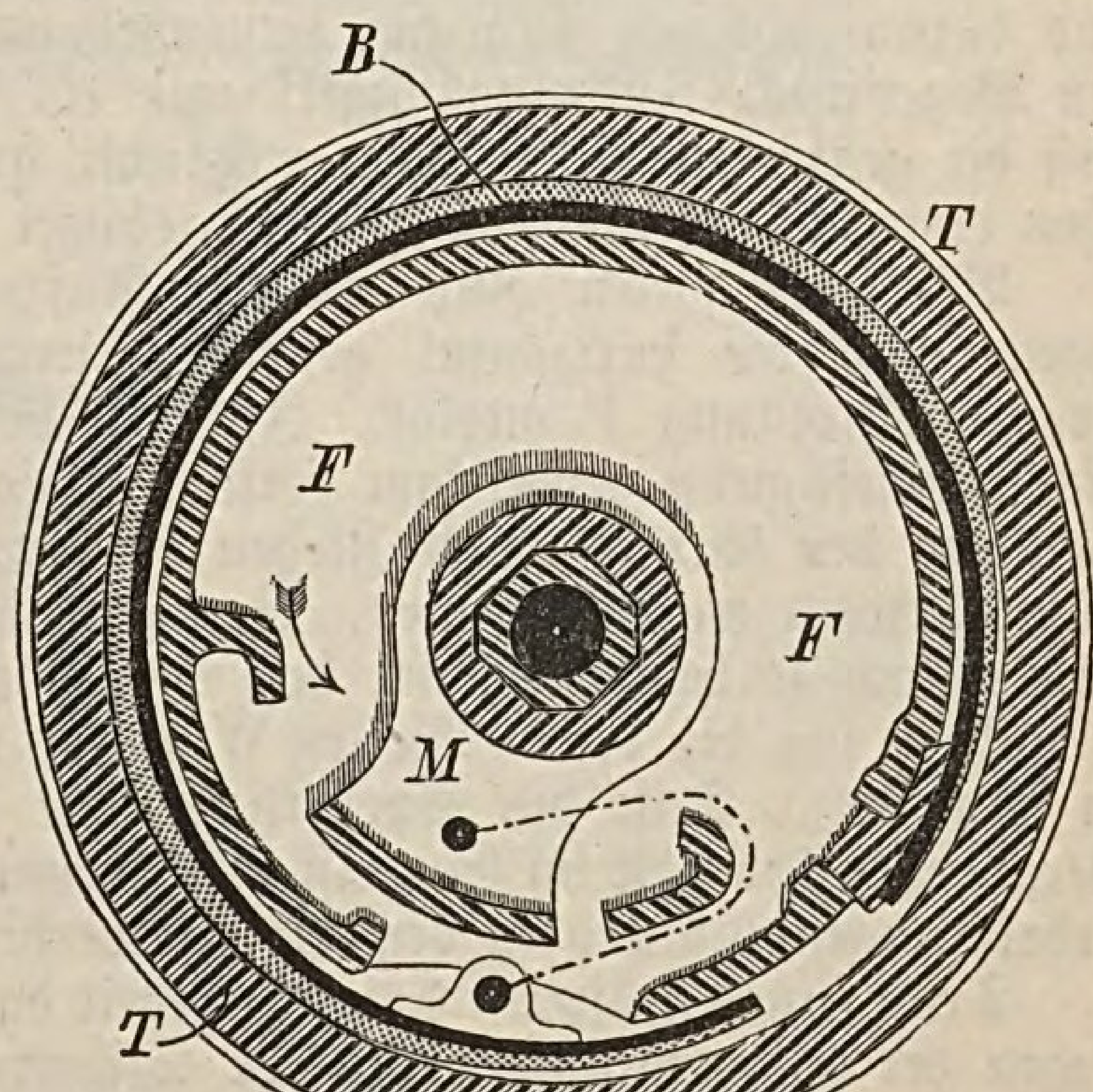


Fig. 187.

Kurbel auf diese Scheibe und weiter durch das Stahlband auf die Trommel T und das Zahnrad Z, wobei die an M und an dem Stahlbande B befestigte Kette schlaff wird, also ein festes Andrücken des Lederbelages an die Trommel T nicht verhindert

Soll die Last herabgelassen werden, so genügt eine geringe Bewegung des schlüsselförmigen Körpers M nach der der Pfeilrichtung entgegengesetzten Richtung, um durch die Kette das Stahlband von der es umgebenden Trommel T abzuziehen. Dadurch verschwindet aber jede Verbindung der Trommel T mit der Scheibe F und also auch der Kurbel K, es genügt also ein geringer Ruck der letzteren nach links, um die Frictionskupplung außer Thätigkeit zu bringen.

Damit nun bei dieser Lage der Kurbel die herabsinkende Last nicht eine zu große Geschwindigkeit annimmt, sind zwischen radialen Vorsprüngen der Trommel T die Gewichte G angebracht Um diese Gewichte legt sich außen ein offenes Stahlband, welches ebenfalls mit einer Lederlage umgeben ist. Mit zunehmender Drehgeschwindigkeit der Trommel T wächst das Bestreben der Gewichte G, nach außen fortzufliegen, die Gewichte werden demnach mit erhöhter Pressung den Stahlring mit dem Lederbelage gegen den sie umgebenden Kranz der Frictionsscheibe F drücken Diese Frictionsscheibe ist aber durch das Sperrrad S, welches mit ihr auf der gleichen Welle w befestigt ist, verhindert, an der Drehung der Trommel T Theil zu nehmen, es wird also die Bewegung der letzteren in demselben Maße durch die Reibung der die Gewichte G umgebenden Lederbandage mit der Frictionsscheibe verzögert, in welchem die Pressung zwischen diesen Theilen mit der Geschwindigkeit der herabsinkenden Last zunimmt

Durch das Loslassen der Kurbel K kommt sofort auch die Lederbandage des Stahlbandes B mit der Trommel zum Anliegen, wodurch das Anhalten der Last fast momentan bewirkt wird.

Die Montirung des beschriebenen Aufzuges kann an jedem dazu geeigneten Gegenstande leicht bewirkt werden. Nach seiner Befestigung wird die Kette bei langsamer Drehung der Kurbel durch die Kettennuß gezogen und darauf ein zur Führung dienendes und die Nuß theilweis umschließendes Bogenstück (Führungsbügel) mit ein oder zwei Schrauben so gestellt, daß die gespannte Kette einen möglichst großen Theil der Nuß umschließt, ohne einen Druck auf den Führungsbügel auszuüben.

Von dem guten Zustande des Aufzuges kann man sich überzeugen, indem man die horizontal gestellte Kurbel etwas belastet und dann die Frictionskupplung F auslöst. Ist das Gestell des Patentaufzuges nicht bei seiner Befestigung gewaltsam verspannt, so müssen die Zahnräder bei dieser Stellung der Kurbel durch Ziehen an der Kette leicht vorwärts und rückwärts bewegt werden können. Bezüglich des Gebrauches der Patent-Winde dürfte noch zu bemerken sein, daß es sich empfiehlt, die Kette und die Lager L und L für die beiden Wellen W und w nebst den Zähnen der Räder gut zu schmieren. Daß die Sperrklinke mit dem Sperrrade S auch bei dem Herablassen der Last im Eingriff bleiben muß, braucht nach den stattgehabten Erörterungen kaum noch bemerkt zu werden.

Trotz seiner größeren Complicirtheit darf der beschriebene Patent-Aufzug wegen der Bequemlichkeit und der Sicherheit seiner Handhabung empfohlen werden, zumal Reparaturen an demselben erfahrungsmäßig weit weniger vorkommen, als man zu erwarten geneigt sein könnte.

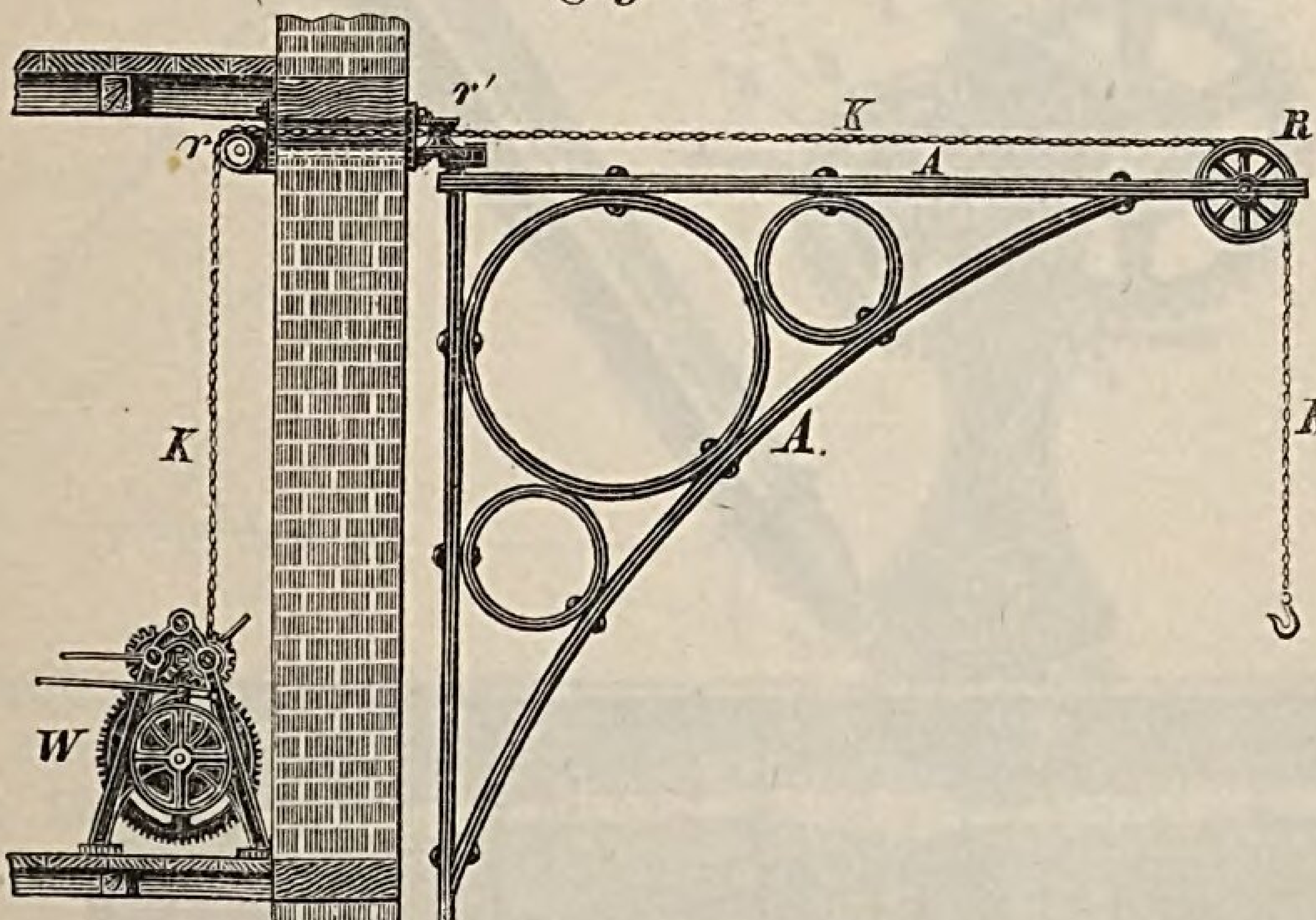
Krähne. Diese sind Hebevorrichtungen, bei welchen das Tragseil oder die Kette von einer Seiltrommel aus an einem meist fest mit dem Krahngestelle verbundenen Baume, dem Auslader, bis über den Ort hingeleitet wird, unter welchem sich die zu hebende Last befindet.

Man construirt die Krähne fest oder beweglich und montirt sie im letzteren Falle auf einem besonderen Wagen, transportabler Krahn. Dabei kann die Last mit dem Auslader in einem vollen oder nur in einem Theile eines Kreises um die Krahnsäule gedreht werden, oder es ist eine solche Drehung überhaupt nicht vorgesehen, sondern nur ein Heben und Senken der Last möglich. Die horizontale Entfernung der an der Krahnkette hängenden Last bis zur Mitte der Krahnsäule wird die Ausladung, die Höhe, um welche die Last gehoben werden kann, die Hubhöhe des Krahnes genannt.

Die Bewegung der Windevorrichtung erfolgt bei dem Handkrahne direct durch Menschenkraft, bei dem Dampfkrahne mit Hülfe von Dampfkraft und bei dem hydraulischen Krahne unter Benutzung von Wasser mit hoher Pressung als Betriebskraft.

In Fig. 188 ist der Auslader A unabhängig von der Winde W an einer Mauer befestigt. Die Kette K von der Winde bis zu

Fig. 188.



Wandkrahn.

dem Haken, welcher die zu hebende Last aufnimmt, wird durch die

beiden kleinen Rollen r und r′ und die größere Rolle R geführt. Der Auslader A ruht unten in der Pfanne m und kann mit der Last in einem Halbkreise gedreht werden. Damit die Bewegung der Kette bei jeder Stellung des Ausladers ungehindert erfolgt, ist die Leitrolle r′ vertical gestellt.

In Fig. 189 ist der Auslader direct mit der Windevorrichtung verbunden und kann in einem vollen Kreise um die Krahnsäule gedreht werden. Die an der Kurbel ausgeübte Kraft wird durch das kleine Zahnrad z auf das rechts etwas über diesem liegende größere Rad Z übertragen, neben welchem, auf derselben Welle und in der Zeichnung durch andere Theile verdeckt, ein kleineres Rad sitzt, das in das an der Kettentrommel befestigte Rad Z′ eingreift und letztere dreht. Die

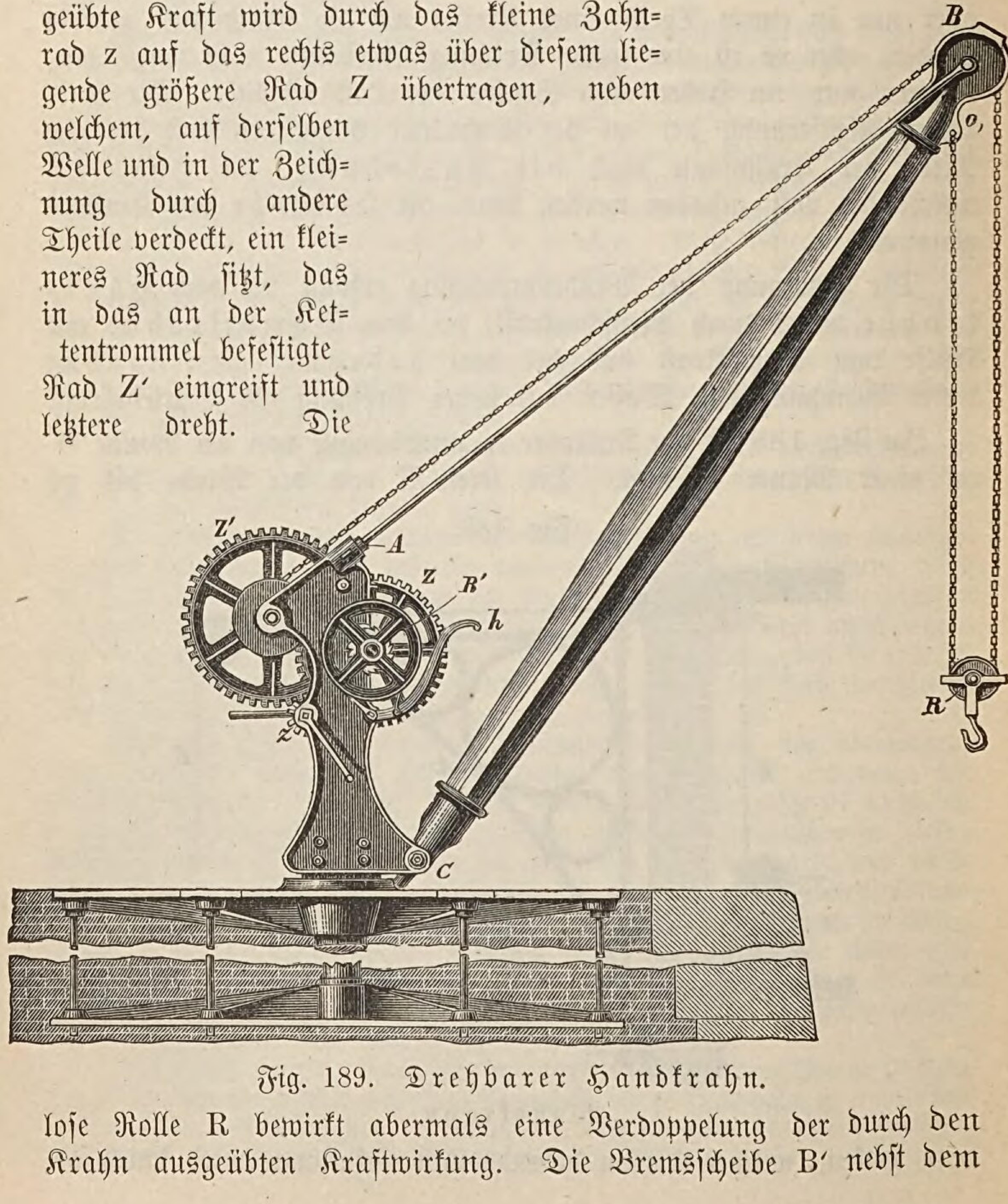


Fig. 189. Drehbarer Handkrahn.

lose Rolle R bewirkt abermals eine Verdoppelung der durch den Krahn ausgeübten Kraftwirkung. Die Bremsscheibe B′ nebst dem

zugehörigen Bremshebel h und das hinter jener befindliche Sperrrad mit Sperrklinke sind deutlich zu erkennen.

Die Skizze Fig. 190 möge zur Beurtheilung der Größen der Zug- und Druckspannungen dienen, welche unter der Einwirkung der Last in der Zugstange AB und dem Auslader CB auftreten.

Entspricht die Länge und Richtung der Linie BD der Kraft, mit welcher die Last Q den Kopf B des Ausladers vertikal abwärts zieht, so ist einleuchtend, daß diese Last auf die Zugstange AB und auf den Auslader BC eine Wirkung ausübt, welche die erstere abzureißen und den letzteren zusammenzudrücken sucht.

Wird die Kraft Q durch Bildung des Parallelogramms Bb Dc in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen Bb mit der Verlängerung der Zugstange und Bc mit der Richtung des Ausladers zusammenfällt, so stellen die Linien Bb und Bc im Vergleich zur Mittellinie BD die Verhältnisse der in der Zugstange und dem Auslader wirkenden Zug- und Druckkräfte zu dem Gewichte der zu hebenden Last dar.

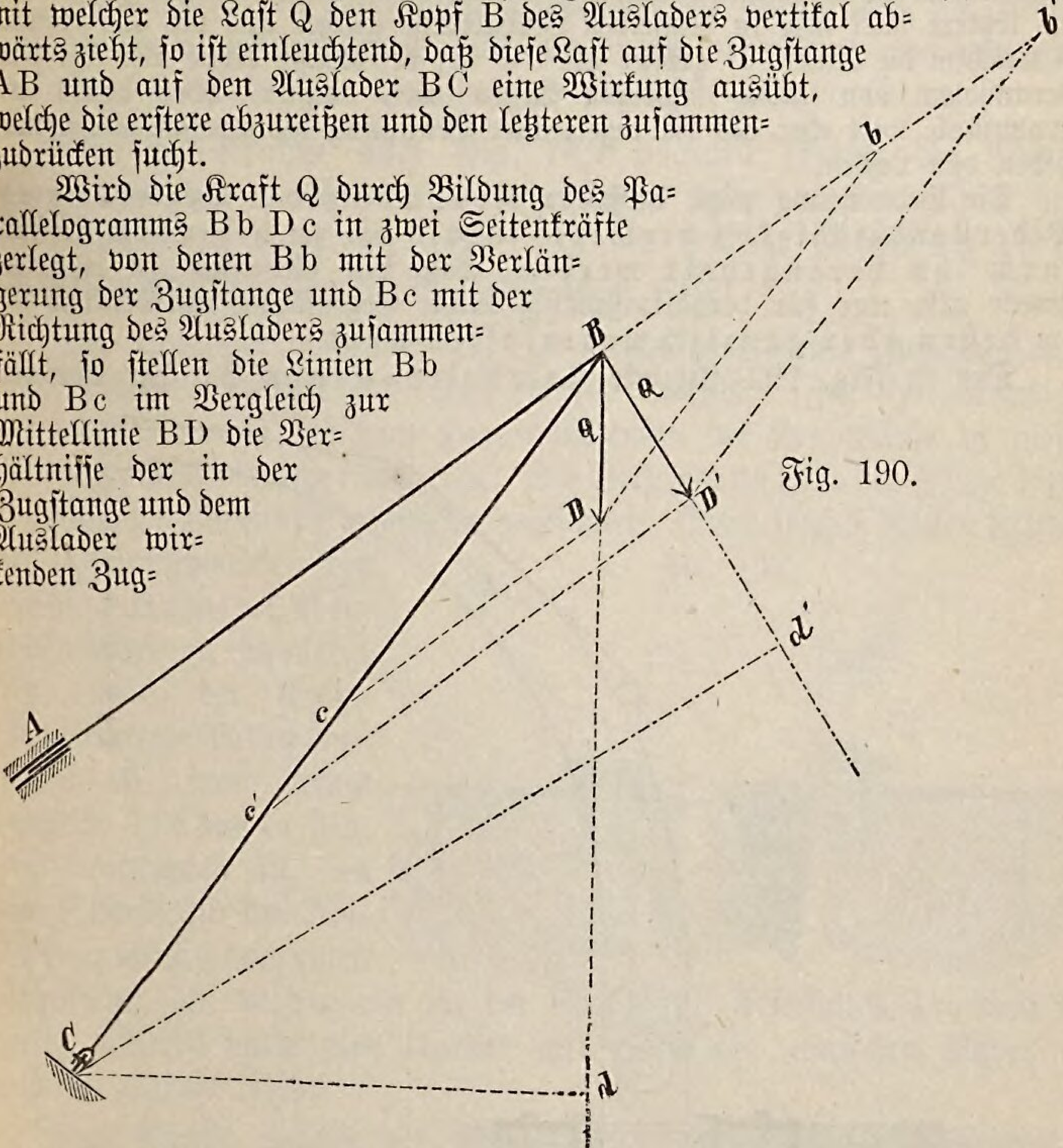


Fig. 190.

Es ist von besonderer Wichtigkeit zu ermitteln, wie die Spannungen sich ändern, wenn die Last nicht vertical am Krahne wirkt, wenn letzterer also dazu dient, den zu hebenden Gegenstand auch *heranzuziehen*.

Wirkt in einem solchen Falle die Kraft Q in der Richtung BD' auf den Punkt B, so ergiebt die Zerlegung von Q nach dem Parallelogramme Bb' D'c' der Kräfte die Zug- und Druckspannungen zu Bb' und Bc', welche beide weit größer ausfallen als die entsprechenden Spannungen Bb und Bc bei richtiger Aufhängung der Last. Es wächst demnach sowohl der Zug in der Zugstange, als auch in dem Auslader der Druck sehr erheblich,

sobald der Krahn zum Heranholen einer Last benutzt wird, beide Theile sind demnach auch der Zerstörung in erhöhtem Grade ausgesetzt.

Das Moment, mit welchem die normal angebrachte Last Q den Krahn um den Fußpunkt C des Ausladers umzuwerfen, respective die Krahnsäule abzubrechen sucht, ist gleich Q.Cd, wenn Cd die von C aus auf die Richtung BD, in welcher die Last wirkt, gefällte Normale ist. Für die in der Richtung von BD′ wirkende Last ergiebt sich aber dieses Moment zu Q.Cd′, das letztere fällt also in demselben Verhältnisse größer aus als das erstere, in welchem die Linie Cd′ größer als Cd ist; der Krahn kippt also bei dem Heranholen von gleich schweren Lasten weit leichter, oder bricht die Krahnsäule weit eher als bei regelrechter Benutzung des Krahns allein zum Heben von Lasten.

Die Betrachtung zeigt, daß ein Krahn in jeder Beziehung an Widerstandsfähigkeit verliert, sobald die zu hebenden Lasten durch ihn herangeholt werden, daß sein Gebrauch zu letzterem Zwecke also nur für verhältnißmäßig leichte Gegenstände unbedenklich ist, am besten aber gänzlich unterlassen wird.

Der in Fig. 191 skizzirte Fairbairn-Krahn hat der vorigen

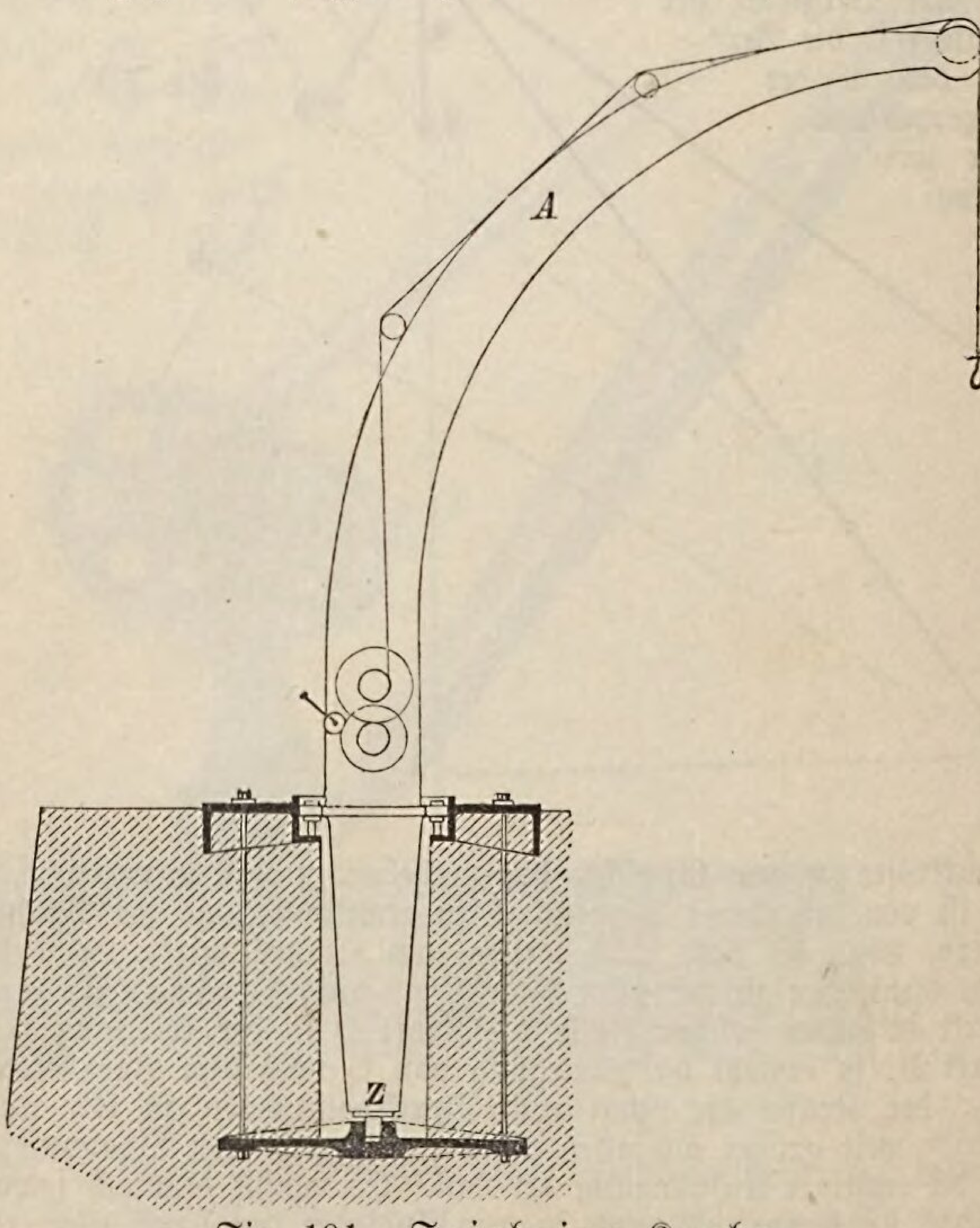


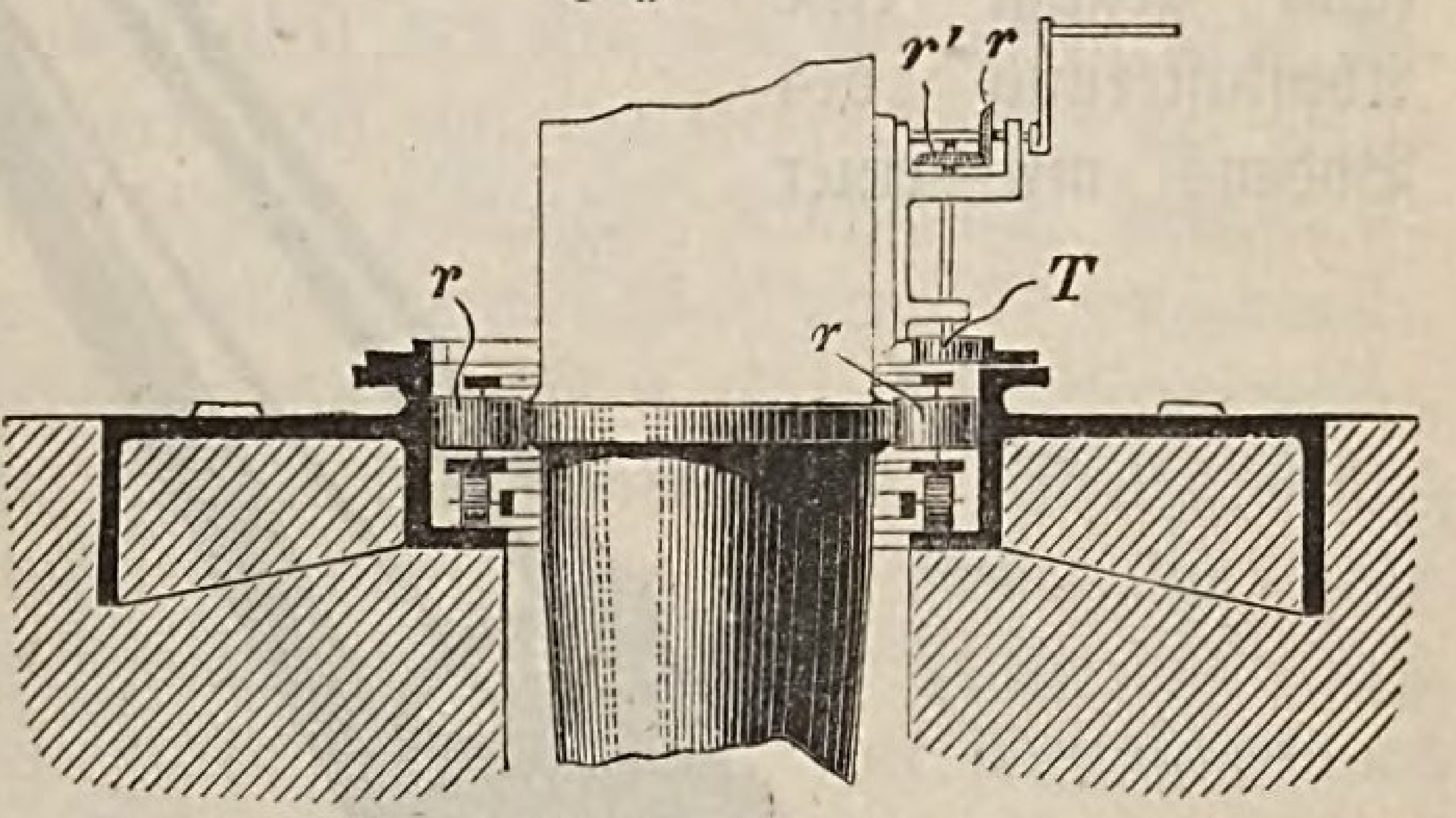
Fig. 191. Fairbairn-Krahn.

Construction gegenüber den Vortheil, daß der Raum unter dem Auslader weniger beengt ist. Außerdem bietet er insofern größere Sicherheit gegen Brüche, als diesen eine merkliche Durchbiegung des stets aus Schmiedeisen construirten Ausladers vorhergeht, die nach einiger Erfahrung erkennen läßt, ob die zulässige Belastung bald erreicht ist. Stellenweis hat man auch Vorrichtungen angebracht, mit deren Hülfe solche Durchbiegungen, und aus diesen wenigstens annäherungsweise die stattfindenden Belastungen abgelesen werden können.

Bei dem Krahne nach Fig. 189 dagegen können die Beanspruchungen des Ausladers, der Zugstange und der Krahnsäule bis zur Bruchgrenze zunehmen, ohne daß die baldige Erreichung dieser durch irgend ein äußeres Merkmal kund wird.

Der Auslader A bildet mit der Krahnsäule einen einzigen Constructionstheil, welcher auf dem Zapfen Z ruht. Zur Herabminderung der Reibung bei dem Herumschwenken der Krahnsäule ist diese mit einem Rollenkranze r umgeben. Die Verbindung ist in der Skizze 192 in größerem Maßstabe besonders gezeichnet. Trotz solcher Rollen würde das Herumschwenken der Krahnsäule ohne besondere Hülfsmittel zu schwierig sein, wenn der Krahn für bedeutende Lasten construirt ist, man bringt deshalb, wie das in Fig. 192 angegeben ist, an dem Gestelle für den Rollenkranz häufig noch einen Zahnkranz an, in den ein an der Krahnsäule befestigtes Triebrad T greift, welches durch eine Kurbel mit Hülfe der conischen Räder r und r′ gedreht wird.

Fig. 192.



Der Druck, welcher bei dem Fairbairn-Krahne die Führungsrollen für die Krahnsäule in horizontaler Richtung trifft, ist sehr erheblich; er wächst im Verhältniß der zu hebenden Last und im Verhältniß der Ausladung des Krahnes, vermindert sich aber in demselben Verhältnisse, in welchem die Entfernung des Spurzapfens Z von dem Rollenkranze r zunimmt. Wegen dieses meist bedeutenden Horizontalschubes ist namentlich bei Fairbairn-Krähnen, welche an Kaimauern aufgestellt sind, sehr sorgfältig darauf zu achten, ob das Mauerwerk nicht nachgiebt.

Einen freistehenden Drehkrahn, wie er zum Heben von Lasten bis zu 6000 kg zur Anwendung kommt, zeigt die Fig. 193. Da der Krahn keines Fundamentes bedarf und seine Aufstellung nur 1 bis 2 Tage in Anspruch nimmt, so eignet er sich besonders zum Gebrauche für provisorische Anlagen. Bei 4,5 m Ausladung und 6,2 m Höhe des Ausladers über den Schienen läßt der Krahn das Normal-Profil der Bahn noch frei, wenn sich der Haken für die Last normal über der Mittellinie des Gleises befindet.

Die Gußplatte, welche zur Befestigung der Krahnsäule dient, kann direct auf den Boden gelegt werden, sobald dieser einigermaßen fest ist; nöthigenfalls genügt eine Abpflasterung des Bodens mit einer

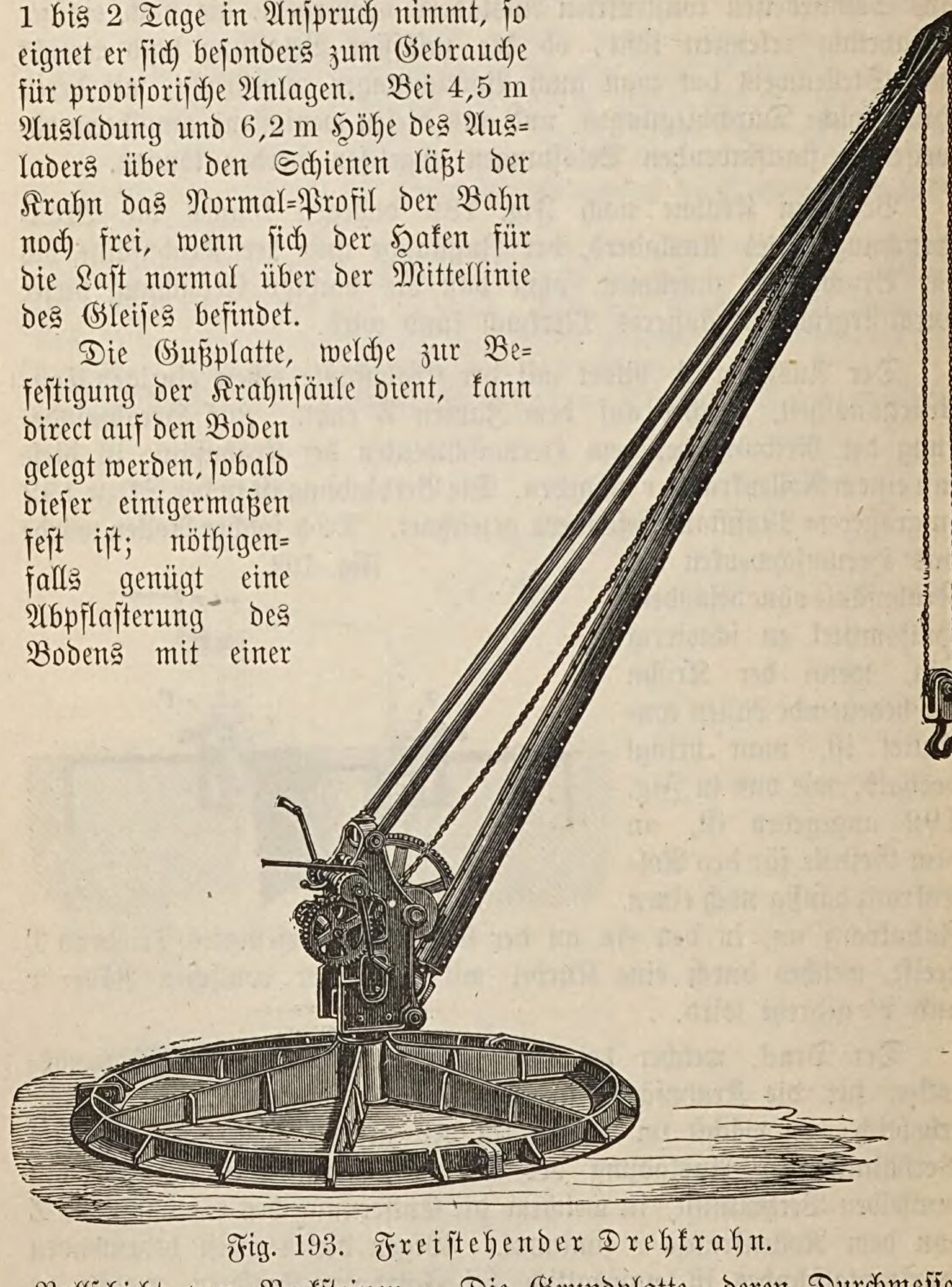


Fig. 193. Freistehender Drehkrahn.

Rollschicht von Backsteinen. Die Grundplatte, deren Durchmesser mit der Tragfähigkeit des Krahnes zunehmen muß, wird mit Gußplatten belegt und mit Kies überschüttet.

Da es nicht überall angänglich ist, die zu hebenden Lasten bis zu dem Standorte der Krähne hinzuschaffen, so ist man oftmals gezwungen, den Krahn nach der Bedarfsstelle zu versetzen. Um dieses möglichst rasch und ohne erhebliche Kosten bewirken zu können, wird ein solcher Krahn am einfachsten auf einen Eisenbahnwagen montirt. Handelt es sich nur um das Verfahren des Krahnes auf demselben Bahnhofe, soll er also nicht auf verschiedenen Stationen verwendet werden, so wird dieser Wagen möglichst niedrig und mit kleinen Rädern hergestellt, während er andernfalls mit Buffern und überhaupt den Bestimmungen für Eisenbahnfahrzeuge entsprechend ausgeführt werden muß.

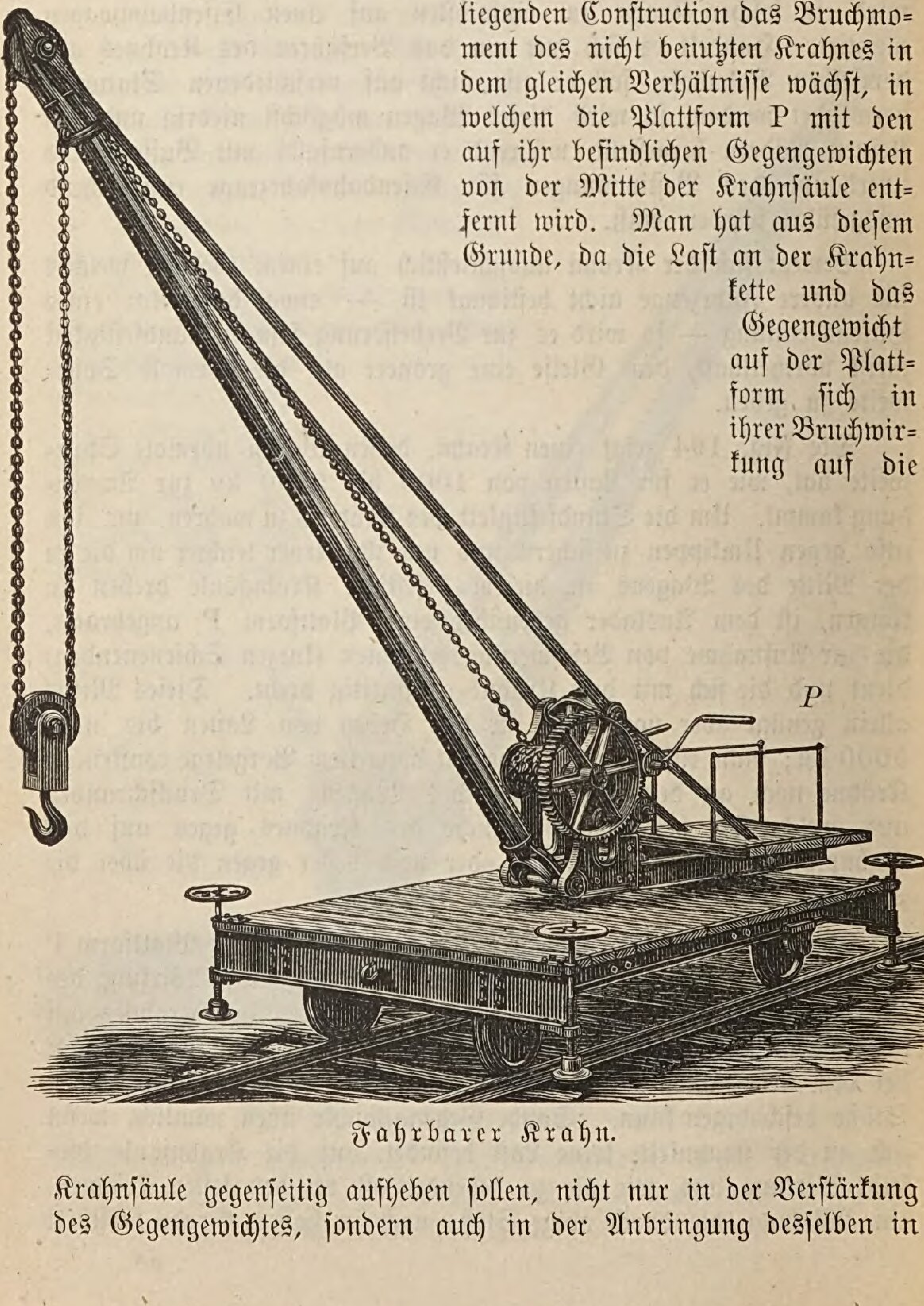
Bewegt sich der Krahn ausschließlich auf einem Geleise, welches für andere Fahrzeuge nicht bestimmt ist — etwa dem Kai eines Hafens entlang — so wird es zur Verbesserung seiner Standfestigkeit meist vortheilhaft, dem Gleise eine größere als die normale Spurweite zu geben.

Die Fig. 194 zeigt einen Krahn, dessen Wagen normale Spurweite hat, wie er für Lasten von 1000 bis 5000 kg zur Anwendung kommt. Um die Standfestigkeit des Krahnes zu wahren, um ihn also gegen Umkippen zu sichern und um ihn ferner leichter um die in der Mitte des Wagens an diesem befestigte Krahnsäule drehen zu können, ist dem Auslader gegenüber eine Plattform P angebracht, die zur Aufnahme von Beschwerungsgewichten (kurzen Schienenenden) dient und die sich mit dem Krahne gleichzeitig dreht. Dieses Mittel allein genügt aber noch nicht für das Heben von Lasten bis nahe 5000 kg; man rüstet daher solche mit doppeltem Vorgelege construirte Krähne noch an den vier Ecken des Wagens mit Druckschrauben aus, welche sich bei dem Gebrauche des Krahnes gegen auf das Bahnplanum gelegte Unterlagen oder noch besser gegen die über die Schienen vorspringenden Schwellen stützen.

Das Auf- und Abbringen der Gegengewichte auf die Plattform P ist umständlich und zeitraubend, während die einseitige Wirkung des Gegengewichtes, wenn man es bei dem Verfahren des Krahnes auf der Plattform liegen lassen wollte, die Krahnsäule und andere Theile bei dem Ueberfahren der Schienenverbindungen durch die auftretenden Stöße beschädigen kann. Solche Gegengewichte üben nämlich, wenn sich an der Krahnkette keine Last befindet, auf die Krahnsäule dieselbe Wirkung aus, wie die zu hebende Last bei den festen Krähnen, eine Wirkung, die durch obige Stöße noch in hohem Grade verstärkt

wird. Es ist nun klar, daß in derselben Weise, wie sich das Bestreben, die Krahnsäule abzubrechen, verstärkt, wenn bei dem Krahne nach Fig. 189 die Ausladung des Krahnes zunimmt, auch bei der vorliegenden Construction das Bruchmoment des nicht benutzten Krahnes in dem gleichen Verhältnisse wächst, in welchem die Plattform P mit den auf ihr befindlichen Gegengewichten von der Mitte der Krahnsäule entfernt wird. Man hat aus diesem Grunde, da die Last an der Krahnkette und das Gegengewicht auf der Plattform sich in ihrer Bruchwirkung auf die

Fig. 194.



Fahrbarer Krahn.

Krahnsäule gegenseitig aufheben sollen, nicht nur in der Verstärkung des Gegengewichtes, sondern auch in der Anbringung desselben in

verstellbarer Entfernung von der Krahnsäule ein Mittel, beliebig große, an der Krahnkette hängende Lasten auszubalanciren.

Während bei der Construction nach Fig. 194 mit fester Plattform diese Ausbalancirung nur durch Vermehrung oder Verminderung der Gegengewichte in beschwerlicher und zeitraubender Weise zu bewirken ist, trifft man häufig die Anordnung so, daß dasselbe Gegengewicht der Krahnachse beliebig genähert oder von dieser entfernt werden kann.

Die Fig. 195 zeigt einen Krahn mit verstellbarem Gegengewichte G, der auf einem mit allen Erfordernissen ausgerüsteten Eisenbahnwagen montirt ist. Die Verstellung des Gegengewichtes geschieht

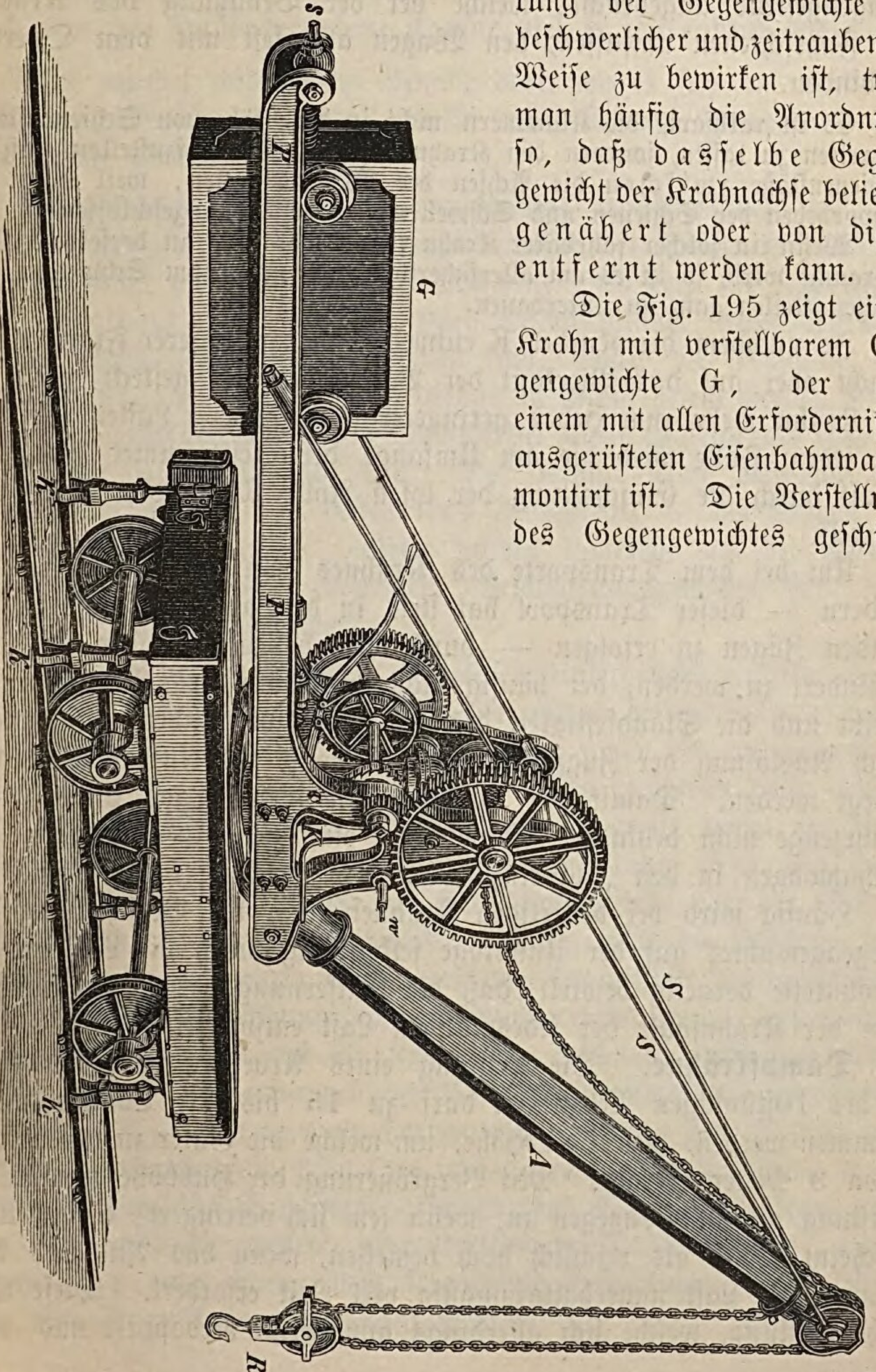


Fig 195. Fahrbarer Krahn mit verstellbarem Gegengewicht.

durch Drehen der Schraube s mit Hülfe eines aufgesteckten Schlüssels oder Handrades.

Zur weiteren Sicherung des Krahnes gegen Umkippen sind, abweichend von der Fig. 194, vier Schienenklammern k an dem Wagengestelle angebracht, welche bei der Benutzung des Krahnes die Fahrschienen umfassen, den Wagen also fest mit dem Oberbau verbinden.

Es ist rathsam, die Klammern nicht in der Nähe von Schienenstößen angreifen zu lassen, sondern den Krahn womöglich so aufzustellen, daß die Schienenstöße zwischen die Achsen des Wagens fallen, weil dann ein Emporheben der Schienen und Schwellen am ehesten ausgeschlossen ist.

Wenn ein solcher fahrbarer Krahn für längere Zeit an derselben Stelle gebraucht wird, so ist es am allersichersten, ihn mit alten Schwellen und einigen Keilen ganz zu unterbauen.

Je nachdem die Kurbel K entweder wie in unserer Figur angebracht oder auf das Vierkant der Vorlegewelle w gesteckt wird, ist der Krahn mehr zum Heben geringerer oder schwerer Lasten geeignet. In jedem Falle wird die am Umfange der Seiltrommel ausgeübte Kraft durch die Einschaltung der losen Rolle R in die Kette verdoppelt.

Um bei dem Transporte des Krahnes von einer Station zur andern — dieser Transport hat stets in den am langsamsten fahrenden Zügen zu erfolgen — durch den hohen Auslader A nicht behindert zu werden, der häufig nicht innerhalb des Normalprofils bleibt und die Standfestigkeit des Fahrzeuges vermindert, kann dieser nach Auslösung der Zugstangen S am Kopfe des Ausladers niedergelegt werden. Damit der Auslader in dieser Lage die übrigen Fahrzeuge nicht behindert, ist vor ihm ein offener Güterwagen als Schutzwagen in den Zug einzustellen, auf welchen er sich stützt.

Häufig wird bei derartigen Krähnen auch die Verschiebung des Gegengewichtes auf der Unterlage selbstthätig durch die Last an der Krahnkette derartig bewirkt, daß die Entfernung des Gegengewichtes von der Krahnsäule der jedesmaligen Last entspricht.

Dampfkrähne. Die Leistung eines Arbeiters während einer 8 bis 10stündigen Arbeitszeit darf zu 15 bis 25 Tonnen angenommen werden, wenn die Höhe, um welche die Güter zu heben sind, etwa 3 Meter beträgt. Mit Vergrößerung der Hubhöhe nimmt die Leistung ab, und dagegen zu, wenn jene sich verringert; die Leistung erscheint ferner als reichlich hoch bemessen, wenn das An- und Abhängen der Last unverhältnißmäßig viel Zeit erfordert. Diese tägliche Leistung, welche sich allerdings annähernd verdoppelt und ver-

vierfacht, wenn der Krahn zwei Kurbeln besitzt, an deren jeder ein oder zwei Arbeiter stehen, erscheint für manche Arbeitszwecke viel zu gering. So würde z. B. das Beladen oder die Entladung eines größeren Schiffes, zumal da die erforderliche Hubhöhe in solchen Fällen das Maß von 3 Metern erheblich zu überschreiten pflegt, durch von der Hand betriebene Krähne viel zu zeitraubend ausfallen.

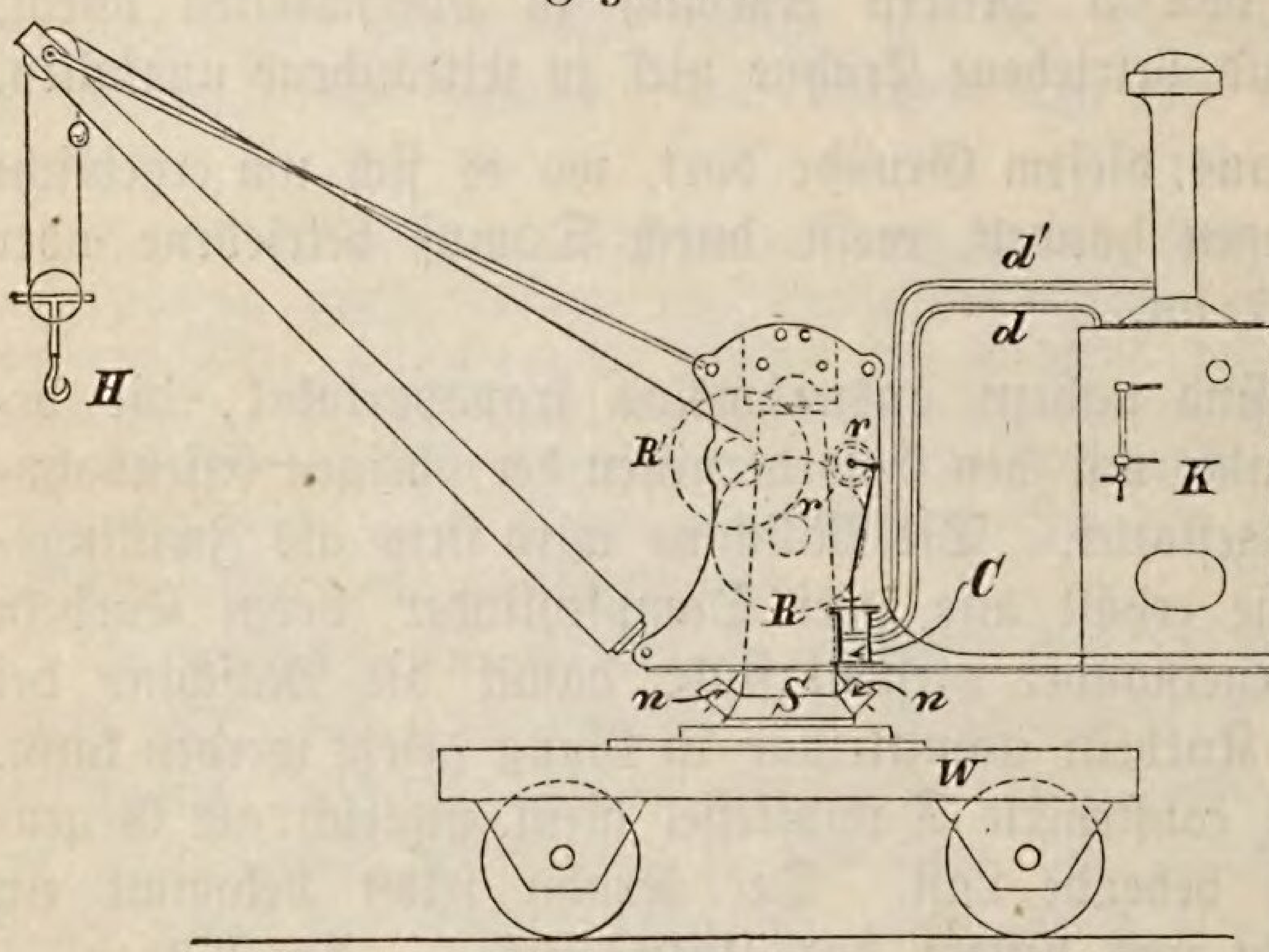
Man wendet aus diesem Grunde dort, wo es sich um erhebliche Lasten und Leistungen handelt, meist durch Dampf betriebene oder hydraulische Krähne an.

Dampfkrähne sind nahezu ausnahmslos transportabel, die betreffenden Wagen aber mit den Erfordernissen der übrigen Eisenbahnfahrzeuge nicht ausgestattet. Die Maschine wird stets als Zwillingsmaschine gebaut, sie erhält also zwei Dampfcylinder, deren Kurbeln um 90 Grad gegeneinander verstellt sind, damit die Maschine bei jeder Stellung der Kurbeln unmittelbar in Gang gesetzt werden kann. Der als Stehkessel construirte Dampfkessel dient zugleich als Gegengewicht für die zu hebende Last. Der Krahn selbst bekommt ein großes Eigengewicht und besteht das Untergestell — der Wagen — meist ganz aus Gußeisen. Wenn nöthig kommen, um den Krahn standfester zu machen, besondere Beschwerungsgewichte für das Untergestell zur Anwendung.

Das Drehen des Krahnes auf seinem Untergestelle geschieht ebenfalls durch Dampfkraft und dienen die obigen beiden Cylinder meist gleichzeitig auch zu diesem Zwecke, nachdem zuvor die entsprechenden Zahnräder aus- und eingeschaltet sind. Das Zahnrad einer verticalen, an dem Krahngestelle befestigten Welle greift dabei in ähnlicher Weise, wie das früher bei dem Fairbairn-Krahne in der Fig. 192 dargestellt wurde, in ein mit dem Krahnuntergestelle oder der Krahnsäule verbundenes großes Zahnrad. Häufig wird die Drehung des Krahnes aber auch durch einen oder zwei horizontale Dampfcylinder direct und ohne Anwendung anderer Zwischenmechanismen, außer einer Kette, bewirkt, welche um die Krahnsäule geschlungen ist und deren Enden an den Kolbenstangen der Cylinder befestigt sind (vergleiche die Fig. 197). Ist nur ein horizontaler Cylinder zum Drehen des Krahnes vorhanden, so bedarf es zweier, nach entgegengesetzten Richtungen hin um die Krahnsäule geschlungener Ketten, von denen die eine direct und die andere, zur Umkehrung der Bewegung, durch Vermittlung einer hinter dem Kreuzkopfe befindlichen festen Rolle von dem Dampfkolben angezogen wird.

Die Fortbewegung der Dampfkrähne geschieht entweder durch eine Locomotive (Thiere), oder die Einrichtung ist so getroffen, daß die eigene Dampfmaschine dazu nutzbar gemacht werden kann.

Fig. 196.



Dampfkrahn.

Fig. 196 zeigt die Linien-Skizze eines Dampfkrahnes, welcher um die mit dem Wagen W fest verbundene Krahnsäule S montirt ist. Der Dampf aus dem Kessel K gelangt durch das Rohr d in die beiden Cylinder C (hinter dem in der Fig. sichtbaren Cylinder befindet sich noch ein zweiter, dessen Kurbel gegen die des vorderen um 90 Grad verstellt ist) und gebraucht durch das im Schornsteine aufwärts gebogene Rohr d′ ins Freie, wobei er das Feuer kräftig anfacht.

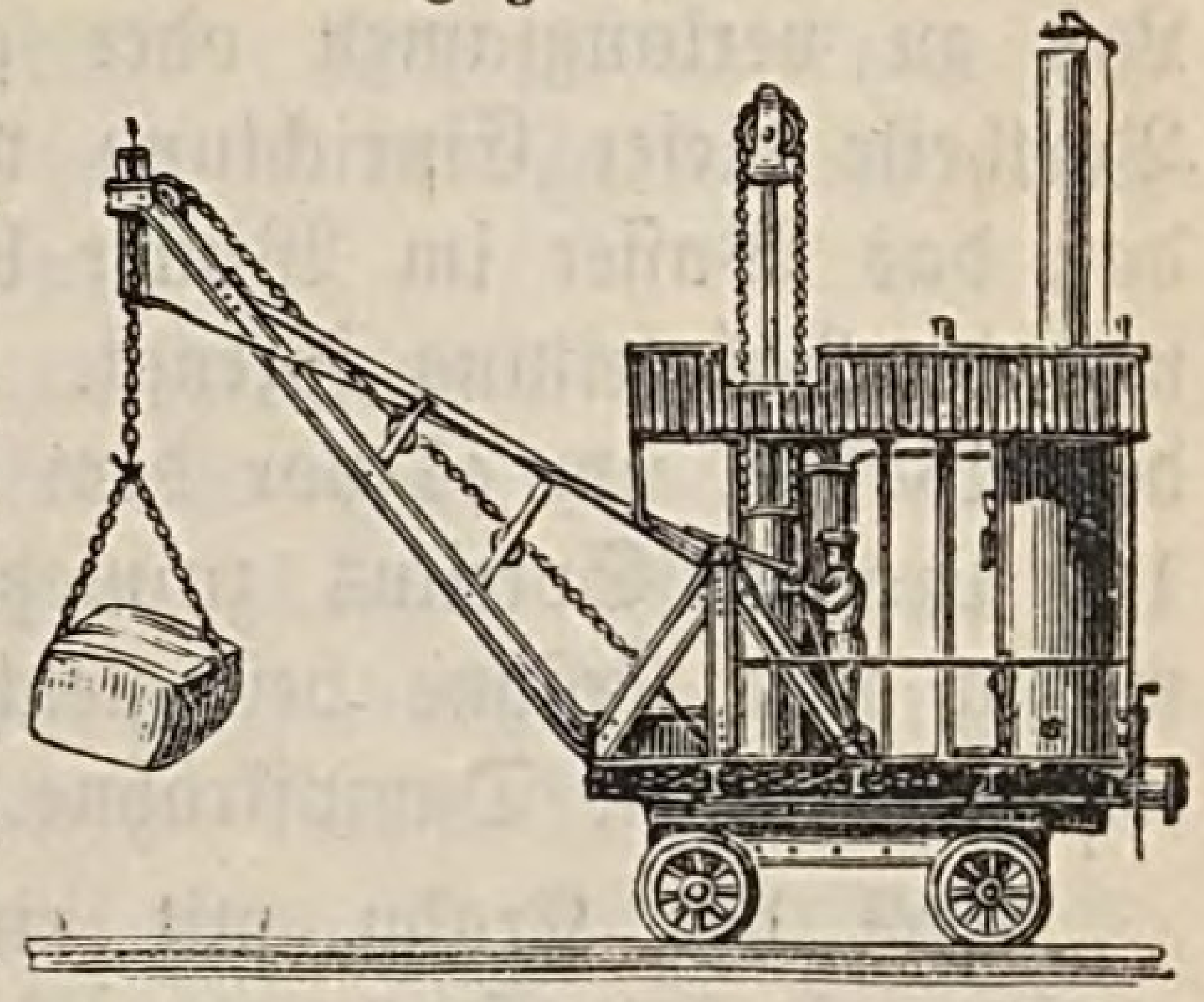
Die Uebertragung der Kolbenbewegungen auf die Seiltrommel und den Zughaken H geschieht in aus der Zeichnung ersichtlicher Weise durch die Zahnräder r, R, r′ und R′.

Das Krahngestell mit dem Kessel ruht auf einem oben in der Krahnsäule S angebrachten Zapfen, um welchen die Drehung erfolgt. Bei der letzteren wird die etwa nach vorn oder hinten überhängende Last des zu hebenden Gewichtes oder des Kessels durch mit dem Krahngestelle fest verbundene Rollen nn gegen die Krahnsäule abgestützt. Der Drehmechanismus selbst ist nicht mit angegeben und eine Vorrichtung zur selbstthätigen Fortbewegung des Krahnes nicht vorgesehen. Sind Einrichtungen zu letzterer vorhanden, so besitzt ein Dampfkrahn der angegebenen Construction bei einem Eigengewichte von 9 bis 10 Tonnen eine tägliche Leistungsfähigkeit von 150 bis 200 Tonnen. Die Tragfähigkeit beträgt dabei passend etwa 2 Tonnen und macht eine Erhöhung derselben die Anbringung besonderer Gegengewichte erforderlich. Der tägliche Kohlenverbrauch darf bei obigen Leistungen zu etwa 250 kg

angenommen werden und ist zur Bedienung des Krahnes nur ein Mann erforderlich.

Man hat in ähnlicher Weise, wie wir das später für hydraulische Krähne kennen lernen werden, auch Dampfkrähne mit direct wirkendem Dampfdrucke gebaut. Bei diesen Krähnen, Fig. 197, ist auf der Kolbenstange des verhältnißmäßig weiten und hohen Cylinders ein Querhaupt befestigt, welches zur Aufnahme der losen Rollen eines Flaschenzuges dient. Die festen Rollen dieses Flaschenzuges befinden sich unten über der Plattform des Wagens.

Fig. 197.



Dampfkrahn.

Wird das eine Ende der um die Rollen des Flaschenzuges geschlungenen Kette unten festgehakt und das andere Ende in aus der Zeichnung ersichtlicher Weise über den Auslader hin nach der zu hebenden Last geführt, so wird bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens die Last mit einer Geschwindigkeit gehoben, welche 2 n mal größer ist als die des Kolbens, wenn n die Zahl der in dem Querhaupte der Kolbenstange vereinigten Rollen ist. Das Gewicht der Last muß selbstverständlich in demselben Verhältnisse gegen den auf die Kolbenfläche wirkenden Dampfdruck vermindert werden, in welchem die Geschwindigkeit der Last die des Kolbens übersteigt. Das Drehen des Krahnes erfolgt unter directer Einwirkung des Dampfes, mit Hülfe eines dem Auslader gegenüber und zur Seite des hinten auf der Plattform befindlichen Stehkessels angebrachten horizontalen Dampfcylinders und zweier nach entgegengesetzten Richtungen um die Krahnsäule geschlungener Ketten.

Besonderes Interesse verdient noch die Vorrichtung, um die Geschwindigkeit der herabsinkenden Last reguliren und diese selbst in jeder Höhe feststellen zu können. Zu diesem Zwecke sind an beiden Seiten des verticalen Dampfcylinders noch zwei engere Cylinder angebracht, die von einem höher stehenden Gefäße aus mit Wasser gefüllten werden. In diesen Cylindern bewegen sich Kolben, welche mit dem Querhaupte des Dampfcylinders für die losen Rollen des Flaschenzuges verbunden sind. Bei der Aufwärtsbewegung des Querhauptes füllen sich die beiden engen Cylinder mit Wasser, das bei dem Niedergange des Querhauptes wieder in den Wasserbehälter

zurückgedrückt wird. Man hat nun durch das mehr oder mindere oder das gänzliche Schließen eines Ventils in der Rohrleitung von dem Wasserbehälter zu den Cylindern ein Mittel, den Wasserrückfluß und damit die niedergehende Bewegung des Querhauptes und der Last zu verlangsamen oder gänzlich zu verhindern. Die großen Vortheile dieser Einrichtung werden theilweise dadurch aufgehoben, daß das Wasser im Winter leicht gefriert und dann die Cylinder und die Rohrleitung sprengt. Es empfiehlt sich aus diesem Grunde, dem Wasser, um es vor dem Gefrieren zu schützen, im Winter etwa 10 Procent Spiritus zuzusetzen. Außerdem erfordern erfahrungsmäßig diese Krähne bei gleichen Leistungen mehr Kohlen als die erstbeschriebenen Dampfkrähne.

Soll der Krahn mit einem selbstthätigen Laufwerke versehen werden, so bedarf es dazu einer besonderen kleinen Dampfmaschine, die dann gleichzeitig als Dampfpumpe für den Kessel dienen kann.

Häufig wird die beschriebene Krahnconstruction dahin abgeändert, daß statt des *einen*, *zwei* verticale Dampfcylinder zur Anwendung kommen, zwischen denen sich dann nur *ein* Wassercylinder (hydraulischer Cylinder) zur Regulirung des Niederganges der Last befindet.

Der Krahn eignet sich nicht zum Heben bedeutender Lasten und auch nicht für große Hubhöhen, weil im ersteren Falle der Durchmesser der Dampfcylinder, und im zweiten Falle die Längen sämmtlicher verticalen Cylinder unbequem groß werden müssen. Bei Anwendung von drei losen Rollen in dem Querhaupte des Dampfkolbens und bei einem Eigengewichte von 14 bis 15 Tonnen besitzt ein solcher Dampfkrahn mit direct wirkendem Dampfdrucke etwa 2 Tonnen Tragfähigkeit bei 11 m Hubhöhe. Die Hubgeschwindigkeit ist bei diesem Krahne größer als bei allen übrigen Systemen, der Krahn ist demnach innerhalb der angegebenen Grenzen der leistungsfähigste Dampfkrahn für Güter aller Art, deren Anhängen an die Kette wenig Zeit erfordert.

Hydraulische Krähne. Diese kommen besonders dort zur Anwendung, wo es sich um die gleichzeitige Aufstellung mehrerer Hebevorrichtungen in nicht großen Entfernungen von einander handelt, deren Bedienung durch Menschenkraft zu kostspielig ausfallen würde. Solche hydraulische Krähne, die später bei den Pumpen eingehender behandelt werden sollen, beruhen auf dem gleichen Prinzipe wie die oben beschriebenen Krähne mit direct wirkendem Dampfdrucke, nur daß an Stelle des Dampfes als Betriebskraft Wasser von hoher Pressung dient, welches von einer Centralstelle aus durch Rohre nach den verschiedenen Bedarfsstellen hingeleitet wird.

Laufkrähne. Diese finden in Gebäuden und im Freien vielfach Anwendung. In ihrer einfachsten Form bestehen sie aus einer Rolle mit angehängtem Flaschenzuge (meist ein Differentialflaschenzug), welche auf einer an der Decke des Arbeitsraumes oder in sonst geeigneter Weise befestigten Schiene ruht. Die Rolle kann mit Leichtigkeit auf der Laufschiene bewegt und so der Flaschenzug nach jedem Orte unter dieser gebracht werden.

Erweist sich eine Schiene für die zu hebende Last zu schwach, so wird sie durch eine zweite, unter die erste genietete Schiene verstärkt, oder sie bekommt einen besonderen Träger (⌶ Eisen) als Unterlage. Für größere Lasten pflegt man zwei Laufrollen miteinander zu verbinden oder drei oder vier Rollen zu einem Wagen zu vereinigen, welcher sich auf den dann doppelt anzuordnenden Trägern bewegt. In solchen Fällen wird dieser Wagen meist als Laufwinde construirt. Es bedarf dann selbstverständlich keines weiteren Flaschenzuges zum Heben der Last.

Die beschriebenen Laufkrahnconstructionen erweisen sich für viele Zwecke noch als verbesserungsbedürftig, weil der Raum, der durch sie beherrscht wird, sich nur auf die vertical oder doch nahezu vertical unter dem Träger befindlichen Orte beschränkt. Um auch rechts und links von dem Träger befindliche Stellen mit der Aufzugsvorrichtung erreichen zu können, wird es entweder nöthig, die Winde als Krahn mit drehbarem Auslader zu construiren,*) eine Form, die namentlich in bedeckten Rämen wegen der erforderlichen bedeutenden Höhe wenig üblich ist, oder man macht die Träger zur Aufnahme der Windevorrichtung selbst seitlich verschieblich, indem man sie auf Rädern montirt, die auf zu jenen Trägern winklig stehenden weiteren Trägern mit Fahrschienen laufen.

Einen derartigen Krahn mit in Fußbodenhöhe liegenden Laufschienen für die ganze Krahnanordnung zeigt Fig. 198, welcher die für geschlossene Räume üblichere Form annimmt, wenn die Ständer S fortfallen und die in der Figur unten liegenden Fahrschienen auf feststehenden Säulen ruhen. Statt der Stützung durch Säulen können diese Schienen oft bequemer an der Decke des Gebäudes aufgehängt, oder auf Vorsprüngen der Umfassungsmauern gelagert werden.

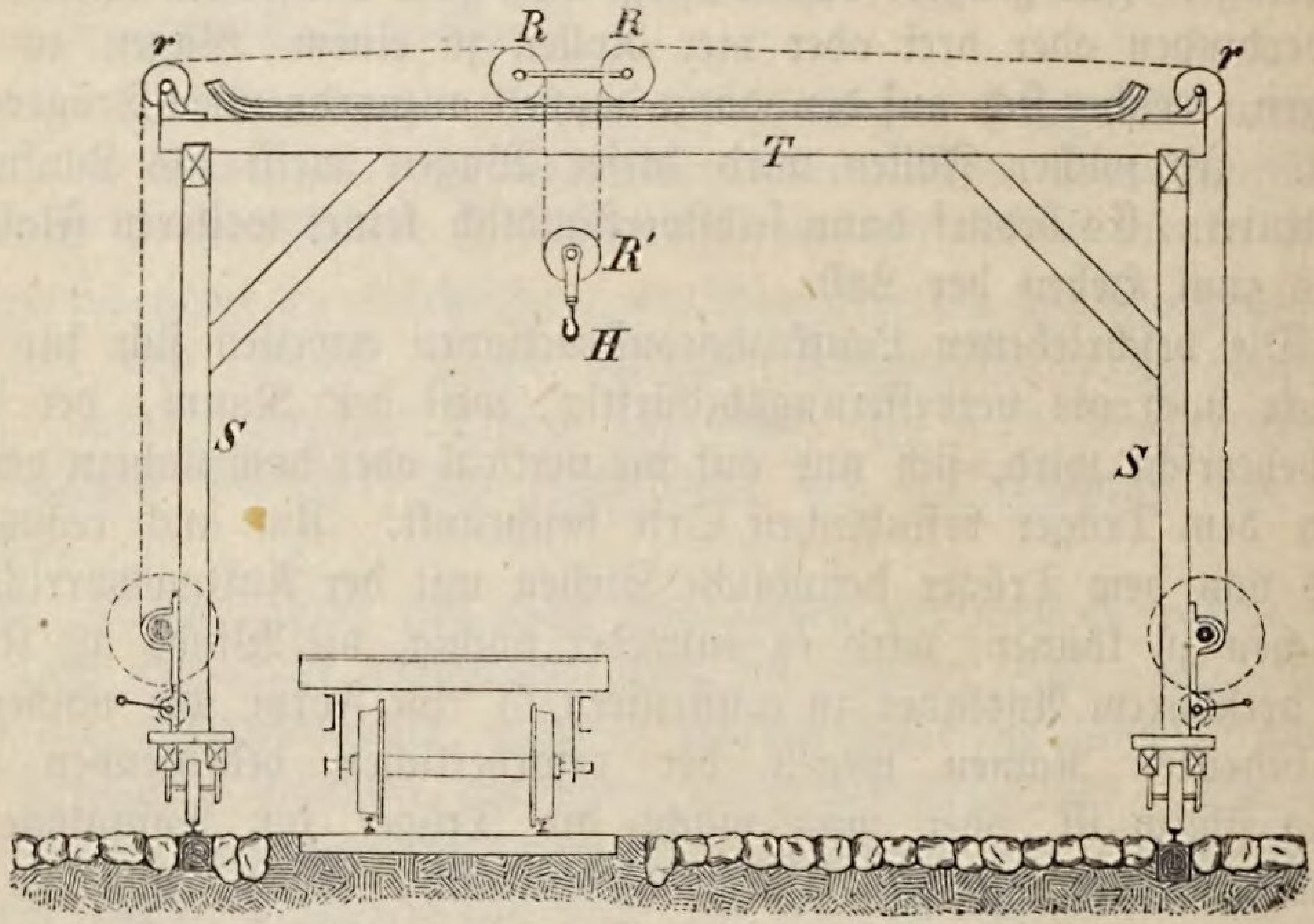
Fallen die Räder unter den Ständern S fort, ruhen diese also auf festem Boden, so erhält man einen feststehenden Laufkrahn.

---

*) Anmerkung. Trotzdem die Winde nur in Ausnahmefällen die Gestalt eines Krahns annimmt, wird sie in der Praxis bei obigen Zwecken dienenden Vorrichtungen doch stets als Laufkrahn (Laufkatze) bezeichnet.

Die gezeichnete Vorrichtung mit und ohne Fahrschienen und Rädern für die Ständer S ist für Eisenbahnzwecke sehr gebräuchlich und dient, wenn der Träger T über mehrere Schienenstränge reicht, hauptsächlich zum Umladen von Gütern von einem Eisenbahnfahrzeuge auf ein anderes. Meist befindet sich jedoch, wie auch in unserer Zeichnung angenommen wurde, neben dem Gleise eine Straße für gewöhnliches Fuhrwerk, der Krahn dient also dazu, die Güter von diesem auf den Eisenbahnwagen oder umgekehrt, die Güter von dem Eisenbahnwagen auf dieses oder die Straße abzuladen.

Fig. 198.



Laufkrahn.

Die Last hängt an dem Haken H der losen Rolle R′ und wird durch ein gemeinsames Anwinden der an beiden Ständern angebrachten Winden gehoben, durch das Anziehen der einen bei dem gleichzeitigen Nachlassen der anderen Winde dagegen quer zur Gleisrichtung verschoben. Die Laufrollen R und R sind durch Traversen mit einander verbunden. Die Rollen r dienen zur Führung der um die lose Rolle R′ geschlungenen Kette nach den Trommeln der beiden Windevorrichtungen hin.

Untersuchung der Krähne. Die wiederholt vorkommenden Unglücksfälle bei dem Gebrauche von Krähnen beweisen, daß die Kenntniß der in Frage kommenden Verhältnisse vielfach noch mangelhaft ist.

Es sollen aus diesem Grunde die zu einer sachgemäßen Untersuchung einzuschlagenden Wege und die bei der Benutzung der Krähne zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln besprochen werden.

Die Ermittelung der Tragfähigkeit eines Krahns geschieht durch Rechnung und ist Sache des Fabrikanten, respective der Bahnoberbeamten, es braucht daher auf diesen Gegenstand hier nicht näher eingegangen zu werden.

Die Rechnung setzt bei ihren Ermittelungen eine ruhig an der Krahnkette hängende Last und ein fehlerfreies Material voraus und bestimmt die zulässige Tragkraft des Krahns derartig, daß die größten Spannungen pro Flächeneinheit, welche in den einzelnen Constructionstheilen vorkommen, bei der noch eben zulässigen Belastung eine für das betreffende Material vorher festgesetzte Grenze nicht überschreiten.

Ob die Annahme eines überall fehlerfreien Materials wirklich zutrifft, ist in vielen Fällen vorher schwer zu bestimmen. Beispielsweise können Gußtheile im Inneren Löcher haben, die Schmiedetheile schlecht geschweißt und die Fehler durch dicken Anstrich oder Kitt verdeckt sein. Um derartige Schäden, welche unter Umständen das ganze Resultat der Rechnung trügerisch machen, zu ermitteln, werden die Krähne vor der Inbetriebnahme Probebelastungen unterworfen. Die Probelast schwankt bei den verschiedenen Eisenbahnverwaltungen im Allgemeinen zwischen dem $1^1/_4$ und $1^1/_2$fachen der im Gebrauche zulässigen größten Last; die mindere Probelast ist die üblichere, weil andernfalls die Gefahr entsteht, daß sich namentlich versteckte Schweißfehler oder Löcher in Gußtheilen unter der stärkeren Last vergrößern und später beim regelmäßigen Gebrauche gefährlich werden.

Vorzugsweise bei Krähnen mit festen Wendesäulen, Fig. 189 und 196, bleibt die Inanspruchnahme des Materials bei den verschiedenen möglichen Stellungen des Ausladers nicht dieselbe, es wird daher für eine erschöpfende Untersuchung nothwendig, die Krahnsäule mit der an ihr hängenden Probelast um die Krahnsäule herum zu schwenken.

Gelegentlich der zeitweise — je nach der Häufigkeit der Benutzung halb- oder ganzjährig — vorzunehmenden Probebelastungen sind durch sachkundige Werkstättenbeamte alle Constructionstheile einzeln sorgfältig auf Brüche, Sprünge und andere Schäden zu untersuchen, zerbrochene oder verloren gegangene Muttern und Splinte zu ersetzen, ausgelaufene Lagerschalen und Wellen zu erneuern, die Brems- und Sperrvorrichtungen nöthigenfalls in Stand zu setzen u. s. w. Be-

sondere Aufmerksamkeit ist bei dieser Gelegenheit dem Tragseile oder der Kette zu schenken.

Bezüglich der letzteren sind die Ansichten getheilt. Wenn von einer Seite hervorgehoben wird, daß Brüche von Ketten weniger gefährlich und leichter zu repariren seien als solche der Auslader, der Zugbänder ꝛc., und daß es sich aus diesem Grunde empfehle, die Ketten verhältnißmäßig schwächer als die übrigen Theile zu machen, damit vorkommendenfalls sie und nicht jene brechen, so darf doch auch nicht übersehen werden, daß die Ketten vorzugsweise abnutzen und auch bei einem minderen Drucke oft brechen, wenn ihre einzelnen Glieder umschlagen oder sich bei dem Aufwinden auf die Trommel übereinander legen. Außerdem dürften bei der großen Zahl der vorhandenen Kettenglieder bei ihnen am ehesten Schweißfehler zu befürchten sein, welche nach und nach größer werden.

Um letztere Fehler sicherer erkennen zu können und um gleichzeitig eine nachtheilige Veränderung des Eisens durch den wiederholten Gebrauch zu beseitigen, wird vielerorts ein etwa alle zwei Jahre zu wiederholendes Ausglühen der Kette bis zur Rothwärme und nachheriges Erkalten unter Asche vorgeschrieben. Eine Erprobung der Kette allein mit Hülfe besonderer Vorrichtungen auf das Doppelte der im Betriebe zulässigen Spannungen ist üblich. Beim Bezuge neuer Ketten sollten immer Ursprungszeugniß und amtliche Bescheinigungen über die stattgehabten Prüfungen beigebracht werden müssen.

Handhabung der Krähne. Diese darf nur durch eigens für diesen Zweck bestimmte Arbeiter unter der Aufsicht eines Krahnmeisters und auf Grund von Dienstanweisungen erfolgen, welche mit besonderer Rücksicht auf den Zweck und die vorliegenden Constructionen ausgearbeitet sind. Um eine unbefugte Benutzung auszuschließen, sollten stets die Kurbeln und andere bewegliche Theile nach dem jedesmaligen Grauche des Krahnes festgeschlossen und die Schlüssel einem Beamten übergeben werden.

Das Heben von Lasten darf nur in lothrechter Richtung geschehen, namentlich sollte der Krahn nie zum Heranholen schwerer Gegenstände benutzt werden, ein Verfahren, auf dessen Gefährlichkeit bereits hingewiesen ist.

Wenn hervorgehoben wurde, daß durch die veränderte Zugrichtung die Beanspruchungen der Krahnsäule, der Zugbänder und des Ausladers wachsen und sich die Standfestigkeit des Krahns vermindert,

so sind die Uebelstände dieser ungehörigen Verwendung des Krahns damit noch nicht erschöpft.

Bei dem Heranholen z. B. eines Steines durch die Krahnkette gleitet dieser oder wälzt sich auf seiner Unterlage fort. Die Bewegung dabei ist selten eine gleichmäßige, vielmehr meist eine ruckweise, sie hat demnach Erschütterungen des Krahns, ein Schlagen der Kette und ferner auch häufig ein seitliches Umkippen des Steins zur Folge, wodurch nicht nur die Krahntheile, sondern auch die umstehenden Arbeiter leicht beschädigt werden.

Bei dem Aufwinden der Last in senkrechter Richtung sind Erscheinungen, wie sie eben geschildert wurden, ebenfalls nicht ausgeschlossen. Die um glatte Gegenstände — z. B. um einen Kessel — geschlungene Kette gleitet leicht von denselben ab, wenn sie sich durch das Anwinden spannt. Häufig gehen auch dem wirklichen Abheben der Last von dem Boden ruckweise Bewegungen vorher, wenn bei einigen der verschiedenen Lagen, in welche sie durch das Anheben gebracht wird, ihr Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist. Das Umschlagen eines Kettengliedes, das Abgleiten von seiner Unterlage, wenn sich einzelne Windungen über einander gelegt haben sollten, und andere Unregelmäßigkeiten können ebenfalls ruckweise Bewegungen und dadurch Inanspruchnahmen des Krahns im Gefolge haben, die bei der Rechnung kaum zu berücksichtigen sind und welche die bei ruhig hängender Last auftretenden Spannungen weit übersteigen. Dabei ist es schwierig und erfordert Uebung, das Gewicht eines Gegenstandes vorher abzuschätzen, also zu beurtheilen, ob der betreffende Krahn, an welchem die zulässige größte Belastung in deutlicher Weise anzugeben ist, auch für dieselbe genügt. Die Bestimmung über diese Frage und die Verhütung der vorher aufgeführten Unregelmäßigkeiten und Unzuträglichkeiten bei dem Gebrauche eines Krahns ist Sache des Krahnmeisters. Es würde sich die allgemeinere Einführung der bereits früher (auf Seite 97) erwähnten Krahnwaagen empfehlen, an Stelle derer bei Krähnen Fairbairn'scher Construction Vorrichtungen treten können, welche die gehobene Last nach der stattfindenden Durchbiegung des Ausladers beurtheilen lassen.

Bei dem Anheben der Last soll sich die Sperrklinke mit dem Sperrrade im Eingriffe befinden und sollte die Klinke bei dem Niederlassen der Last nie eher ausgehakt werden, als bis die Bremse durch einen sachkundigen Arbeiter oder besser den Krahnmeister selbst angezogen ist. Durch die Bremse muß auch die Ge-

schwindigkeit der niedersinkenden Last sorgfältig regulirt werden, weil bei einer zu großen Schnelligkeit der Bewegung häufig Brüche sowohl von Krahntheilen, als auch der hart aufstoßenden Last unvermeidlich sind. Um eine Beschädigung der Arbeiter durch die heftig umschleudernden Kurbeln gänzlich auszuschließen, empfiehlt es sich, diese vorher abzunehmen.

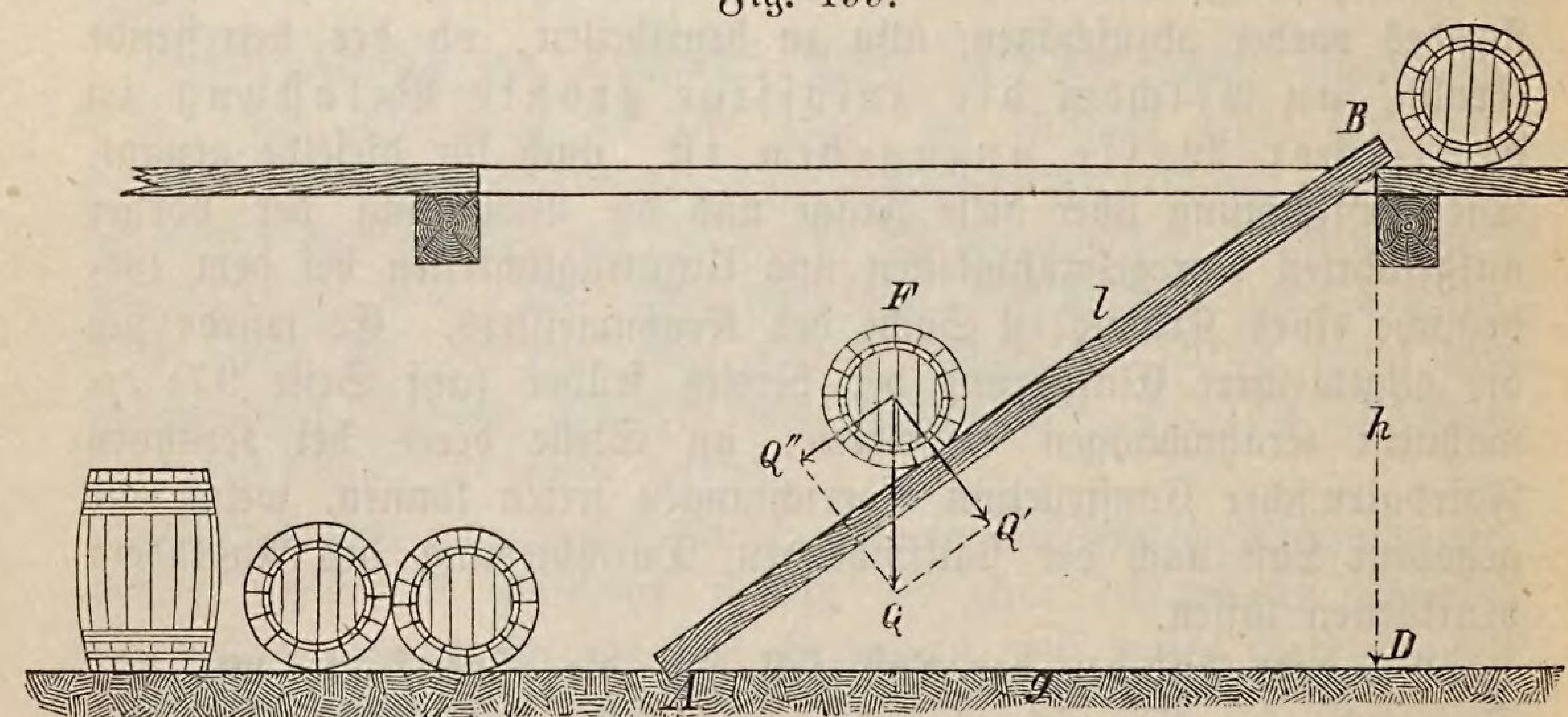
Das Bremsband darf nicht geschmiert werden. Wenn die Bremse nicht halten will, kann man Sand auf das Bremsband geben, wodurch die Reibung vergrößert wird.

Wenngleich die Reibung von Eisen auf Eisen größer ist als von Holz auf Eisen, so empfiehlt es sich doch unter Umständen, das Bremsband mit Holz auszufüttern, weil alsdann ein gleichmäßigeres und sanfteres Niedergleiten der Last besser zu ermöglichen ist, als bei der Reibung von Eisen auf Eisen. Die Last mit der Bremse in jeder Stellung ganz fest zu halten, erfordert allerdings bei Holzausfütterung eine größere Kraftanstrengung an dem Bremshebel.

Die schiefe Ebene. Eine für vorhandene Arbeitskräfte zu schwere Last kann auch ohne Flaschenzüge, Windevorrichtungen oder Krähne gehoben werden, indem man sie auf einer geneigten Ebene in die Höhe wälzt oder schiebt.

Bezeichnet in Fig. 199 F ein Faß von dem Gewichte Q, welches aus einem Keller in den um h Meter höher gelegenen Raum ge-

Fig. 199.



Die schiefe Ebene.

hoben werden soll, und man rollt es auf der schrägen Unterlage A B nach oben, so erhält man durch Zerlegung der Kraft Q in die beiden

Seitenkräfte Q′ und Q″ senkrecht und parallel zu seiner Unterlage in Q″ die Kraft, welche das Faß seiner Weiterbewegung nach B entgegensetzt. Wegen der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke F Q″Q und A B D ist

$$FQ'' : FQ = BD : BA.$$

Wenn A B mit l, B D mit h und A D mit g bezeichnet und statt der Linien F Q″ und F Q die Kräfte Q″ und Q benutzt werden, so ist

$$Q'' : Q = h : l, \text{ daher: } Q'' = Q \cdot \frac{h}{l}.$$

In gleicher Weise findet man

$$Q' = Q \cdot \frac{g}{l}.$$

Man unterscheidet bei schiefen Ebenen ihre Länge, ihre Grundlinie oder Basis und ihre Höhe und ferner ihre Neigung und ihren Neigungswinkel.

In unserer Figur bezeichnet

A B = l die Länge,
A D = g die Grundlinie oder Basis und
D B = h die Höhe

der schiefen Ebene A B, der Winkel B A D ihren Neigungswinkel und das Verhältniß $\frac{g}{h}$ ihre Neigung.

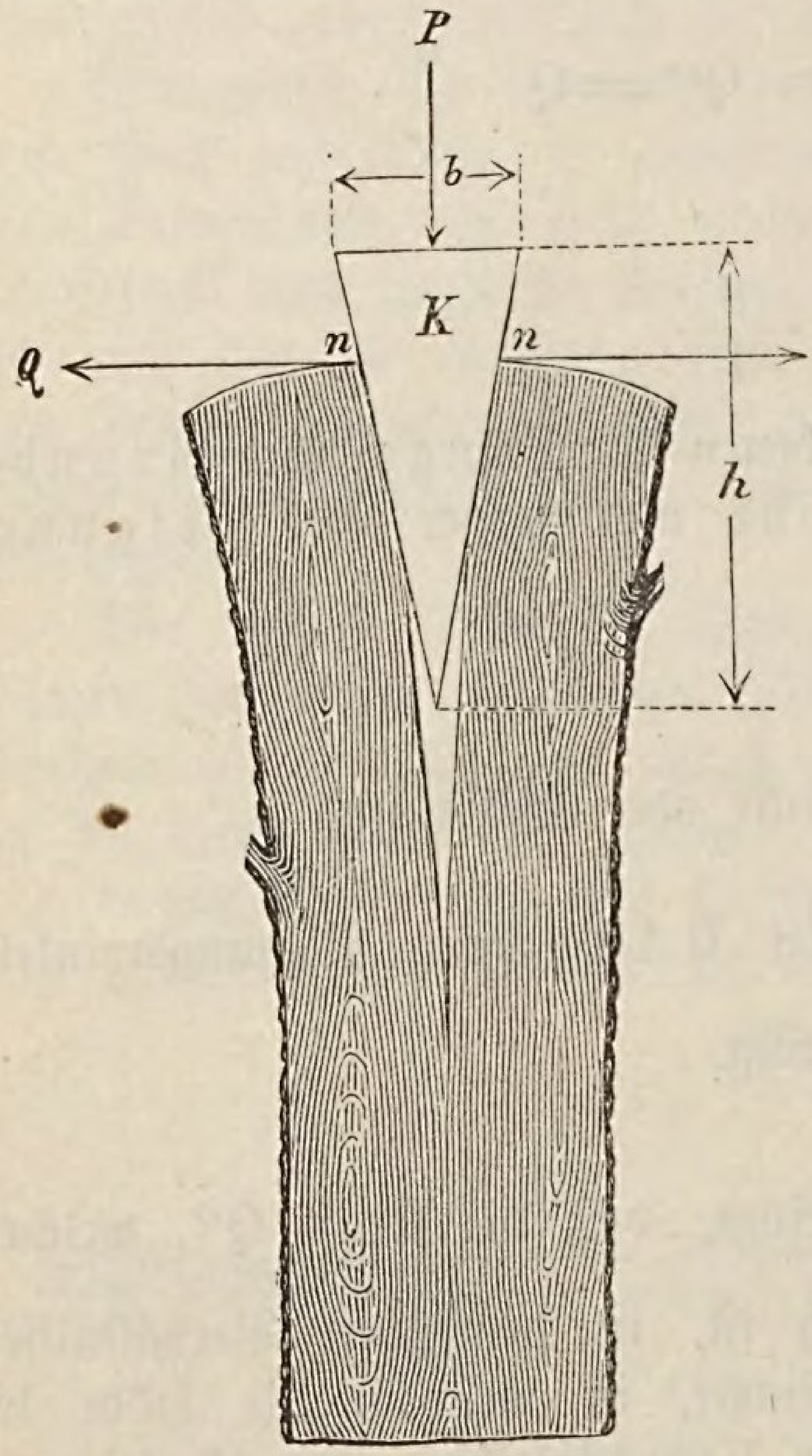
Die Beziehung $Q'' = Q \frac{h}{l}$ besagt, daß die Kraft Q″, welche zum Heben der Last Q erforderlich ist, in demselben Verhältnisse gegen das zu hebende Gewicht abnimmt, in welchem die Höhe h der schiefen Ebene hinter ihrer Länge l zurückbleibt. Die Beziehung $Q' = Q \frac{g}{l}$ dagegen drückt aus, daß der Druck Q′, mit welchem die Last lothrecht auf ihre Unterlage drückt, in demselben Verhältnisse kleiner als Q ausfällt, in welchem die Länge l der schiefen Ebene ihre Basis g überschreitet.

Von diesen beiden Gesetzen ist namentlich das erstere von außerordentlicher Wichtigkeit, indem es ein Mittel angiebt, unter Anwendung verhältnißmäßig geringer Kräfte sowohl bedeutende Widerstände zu überwinden, als auch große Lasten zu heben.

Anwendung der Gesetze der schiefen Ebene. Soll ein Baum, Fig. 200, mit einem Keile K gespalten werden, der mit der Kraft P eingetrieben wird, so kann die Kraft Q, mit welcher der Baum auseinander getrieben wird, in folgender Weise ermittelt werden.

Der Keil. Bei dem Ansetzen des Keils befinden sich die Spaltflächen n und n des Baumes unmittelbar nebeneinander, nach dem Eintreiben des Keils dagegen um das Maß n n von einander entfernt, es hat daher der Widerstand Q, welchen der Baum seiner Spaltung entgegensetzt, auf die Entfernung n n, welche der Breite b des Keilkopfes gleich ist, überwunden werden müssen. Das Product aus Widerstand mal Weg (die verrichtete Arbeitsleistung) ist gleich b . Q. Der Weg, welchen der Angriffspunkt der Kraft P an dem Kopfe des Keils bei der Spaltung des Baumes zurückgelegt hat, ist aber gleich der Höhe h des Keils, das Product aus Kraft mal Weg, also die Arbeitsleistung ist gleich P . h. Nach der goldenen Regel der Mechanik sind beide Producte gleich, also: Q . b = P . h und

Fig. 200.



Der Keil.

$$Q = P \cdot \frac{h}{b},$$

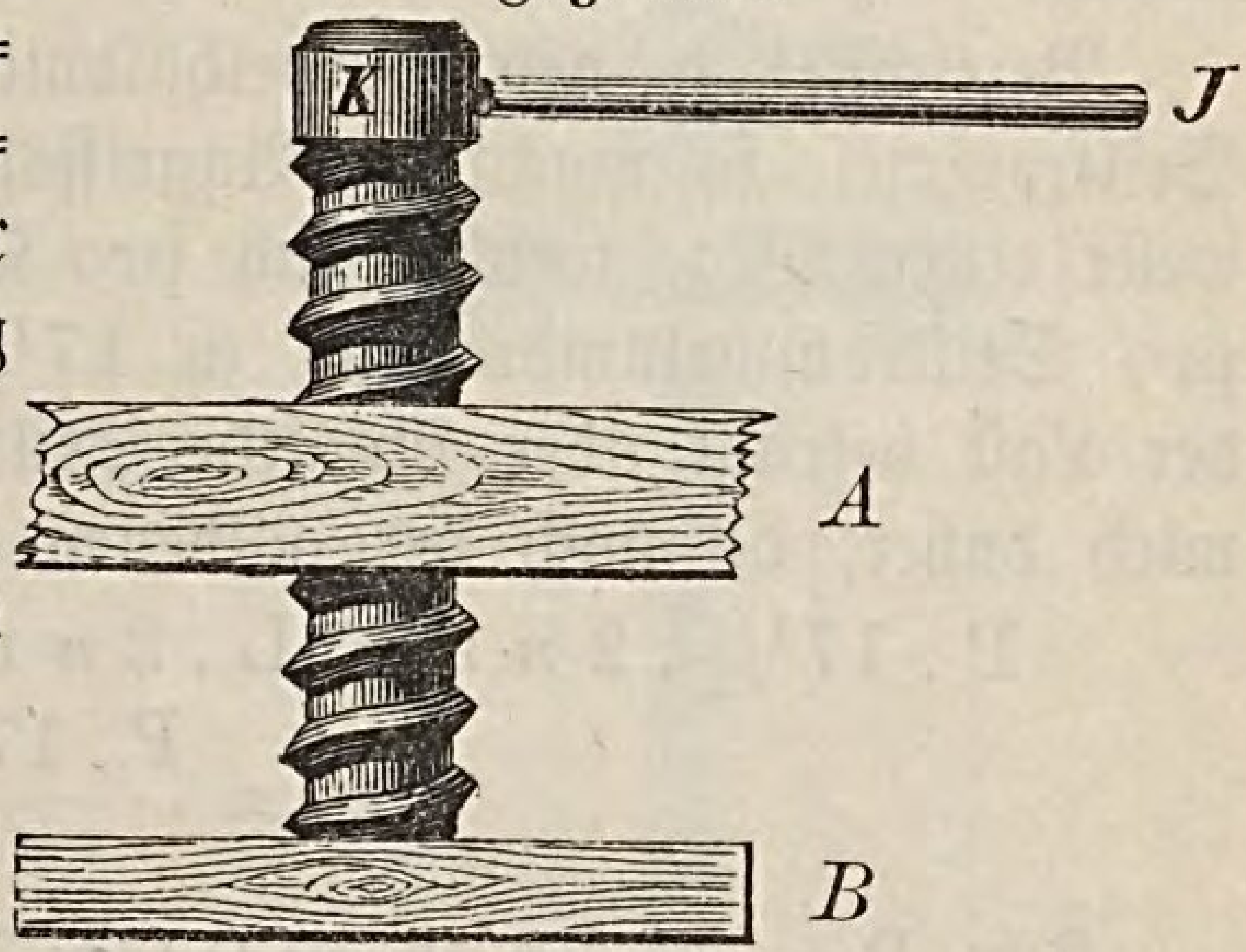
wobei die Reibung des Keils mit den Spaltflächen des Baumes unberücksichtigt geblieben ist.

Zu dem gleichen Resultate würde man durch Zerlegung der Kraft P in zwei Seitenkräfte normal auf die Seitenflächen des Keils und durch Zerlegung dieser letzteren Kräfte in horizontal und vertical wirkende Kräfte gekommen sein.

Die Schraube. Die Schraube stellt eine der wichtigsten Anwendungen des Gesetzes der schiefen Ebene dar.

Indem die Schraube (Fig. 201) mit der Kraft P an dem Hebel KJ gedreht wird, entfernt oder nähert sie die Platten A und B mit einer Kraft Q, die aus dem Wege 2 . π . r, welchen der Angriffspunkt J der Kraft bei einer Umdrehung der Schraube zurücklegt, und dem Maße h der Näherung oder Entfernung der Körper A und B für dieselbe Bewegung die Beziehung

Fig. 201.



Schraube.

$$P . 2\pi . r = Q h$$

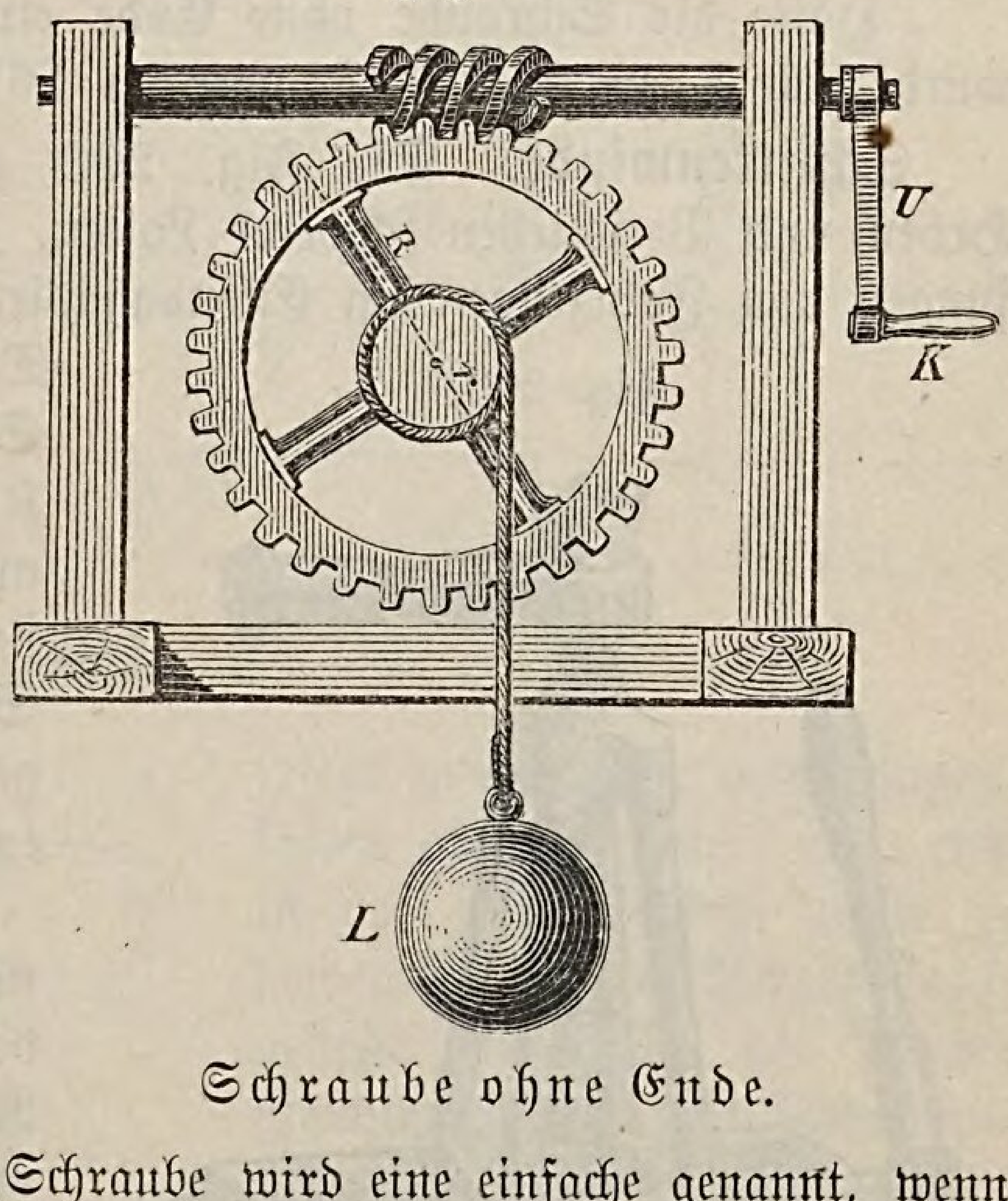
und aus dieser die Kraft Q zu

$$Q = P \cdot 2\pi \cdot \frac{r}{h}$$

ergiebt, wenn r die Länge des Hebels KJ bezeichnet.

Das Maß h der gegenseitigen (relativen) Bewegung der Platten A und B ist gleich der Ganghöhe der Schraube, also für Schrauben mit einfachem Gewinde gleich der Entfernung von zwei Nachbargewinden, bei der doppelgängigen Schraube gleich der doppelten, bei der dreifachen Schraube gleich der dreifachen u. s. w. Entfernung der einander zunächst liegenden Schraubengänge.*)

Fig. 202.



Schraube ohne Ende.

Die Schraube ohne Ende. Durch das Drehen der Kurbel K (Fig. 202) wird auch das Zahnrad R und die Seiltrommel r bewegt. Die auf die Kurbelwelle geschnittene Schraube

---

*) Anmerkung. Eine Schraube wird eine einfache genannt, wenn man, indem man mit dem Finger einen Schraubengang rings um den Schraubbolzen verfolgt, bis zu dem den vorigen zunächst liegenden Schraubengange gelangt. Die Schraube ist doppelgängig, dreigängig u. s. w., wenn man bei obiger Bewegung auf den nächstfolgenden, den dritten u. s. w. Schraubengang trifft.

ist doppelgängig, es bewegt sich also das Zahnrad für jede Kurbelumdrehung um zwei Zähne weiter und sind, da das Rad 35 Zähne besitzt, $17^1/_2$ Umdrehungen der Kurbel nöthig, um die Seiltrommel einmal umzudrehen.

Bezeichnet h den Kurbelhalbmesser und r den Halbmesser der Seiltrommel, so macht der Angriffspunkt der Kraft P an der Kurbelwelle einen Weg, welcher sich pro Kurbelumdrehung zu $2 . \pi h$, und pro Seiltrommelumdrehung zu $17^1/_2 . 2 \pi h$ ergiebt. Die Hubhöhe der Last beträgt aber für jede Seiltrommelumdrehung nur $2 \pi r$, es wird daher, da nach der goldenen Regel der Mechanik

$$P . 17^1/_2 . 2 \pi h = L . 2 \pi r \text{ oder } P . 17^1/_2 h = L . r$$

$$L = \frac{P . 17^1/_2 . h}{r}.$$

Für $P = 15$ kg, $h = 0{,}6$ m und $r = 0{,}2$ m wird

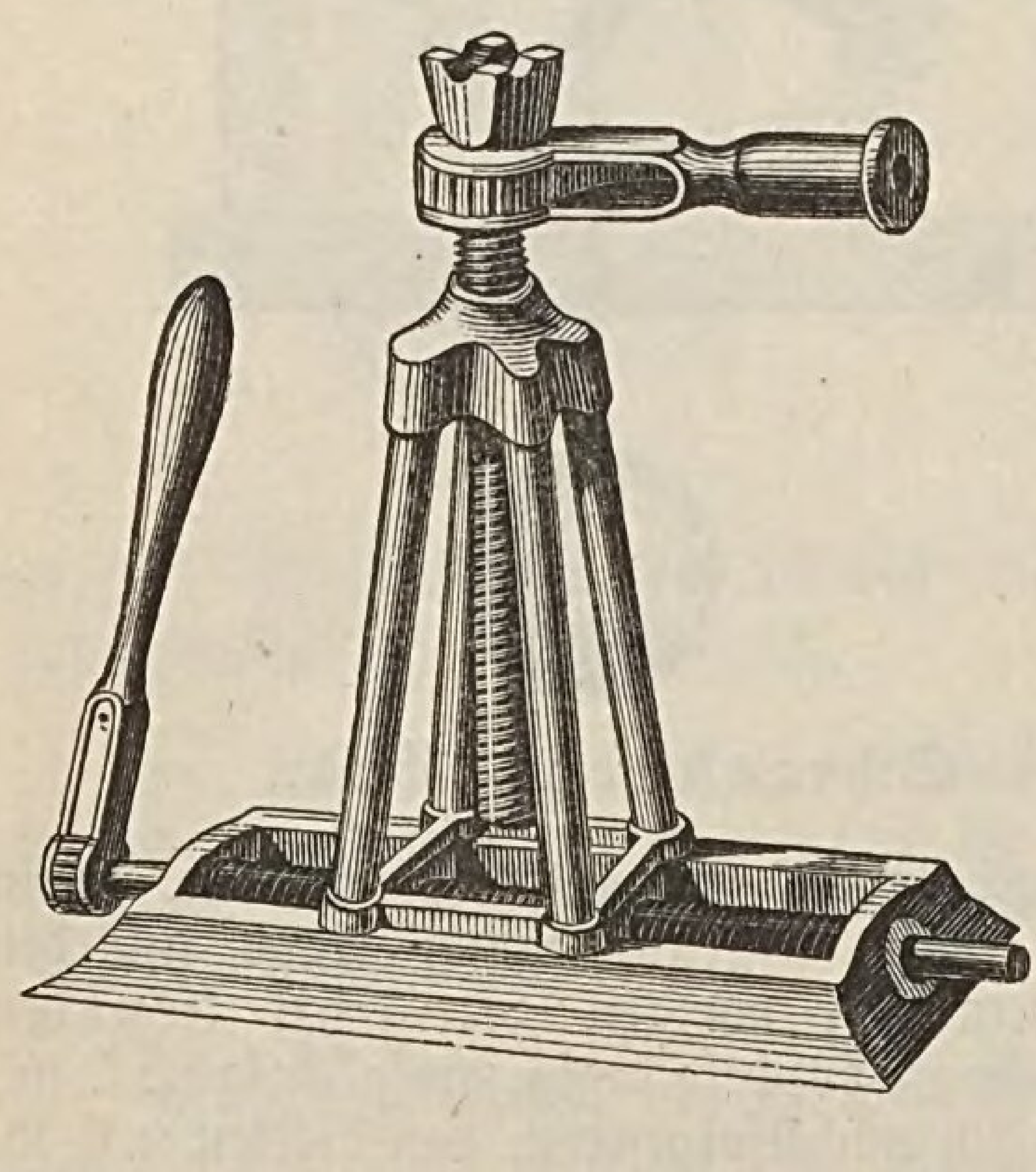
$$L = \frac{15 . 17^1/_2 . 0{,}6}{0{,}2} = 787^1/_2 \text{ kg},$$

wenn von Verlusten durch Reibung abgesehen werden soll.

Hätte die Schraube ohne Ende einfaches Gewinde gehabt, so würde sich L zu $2 . 787^1/_2$ oder zu 1675 kg berechnet haben.

Schlittenwinde. Die Fig. 203 zeigt eine Vorrichtung zum Heben und Verschieben schwerer Lasten, die namentlich bei Entgleisungen von Fahrzeugen im Eisenbahndienste zur Anwendung kommt. Durch Drehen der verticalen Schraube mit Hülfe der oberen Knarre hebt sich dieselbe mit der auf ihr ruhenden Last, während sie durch Drehung der unteren Schraube mit Hülfe der aufgesteckten Knarre in horizontaler Richtung verschoben wird.

Fig. 203.



Schlittenwinde.

Windeböcke. Zum Hochnehmen des Wagengestells von den Achsen — z. B. bei der Revision der letzteren — kommen die in den Fig. 204 bis 206 dargestellten Windeböcke zur Anwendung. Der eiserne Träger T, welcher jedoch auch oft durch einen hölzernen Balken

Fig. 204.

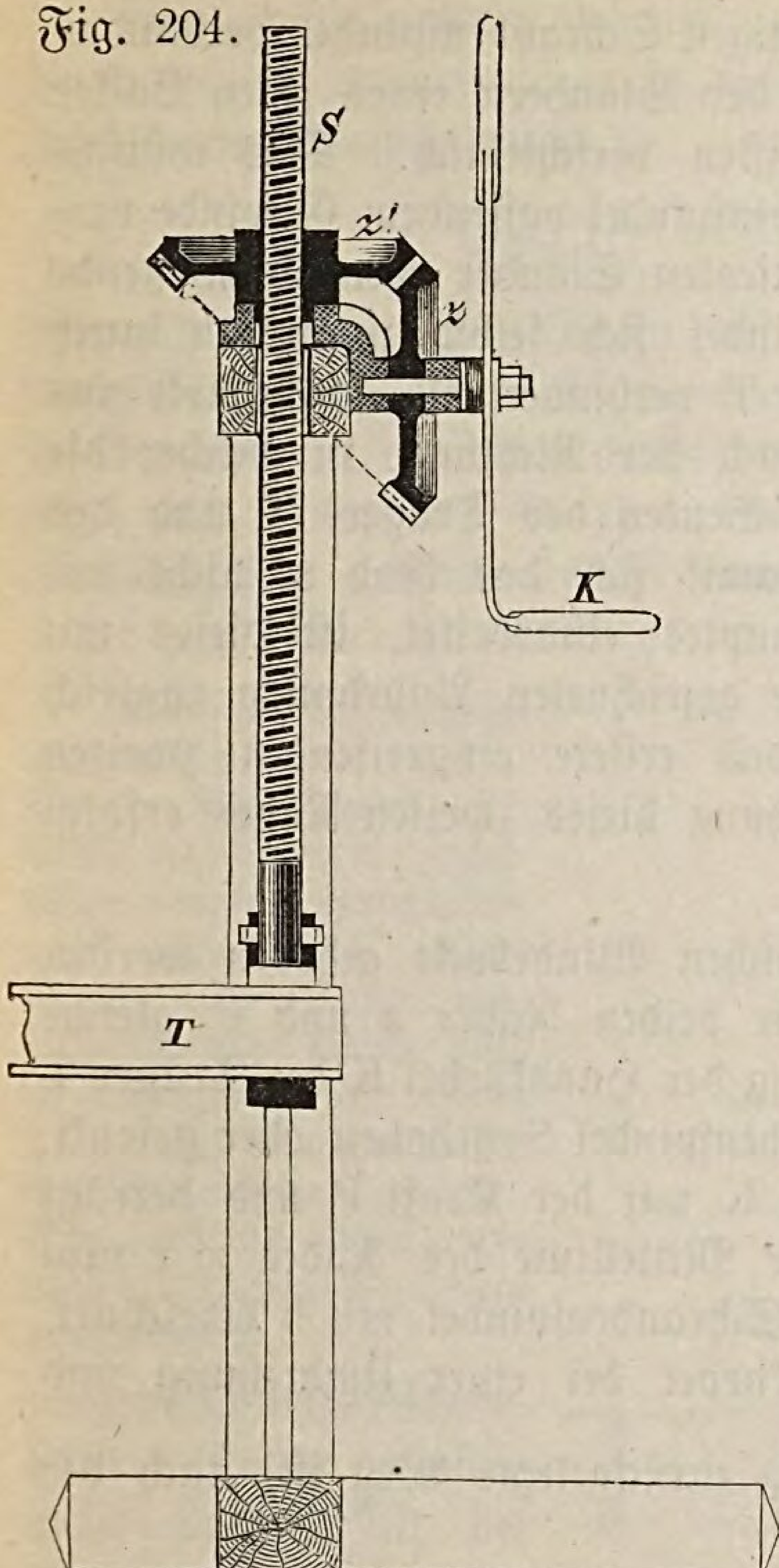
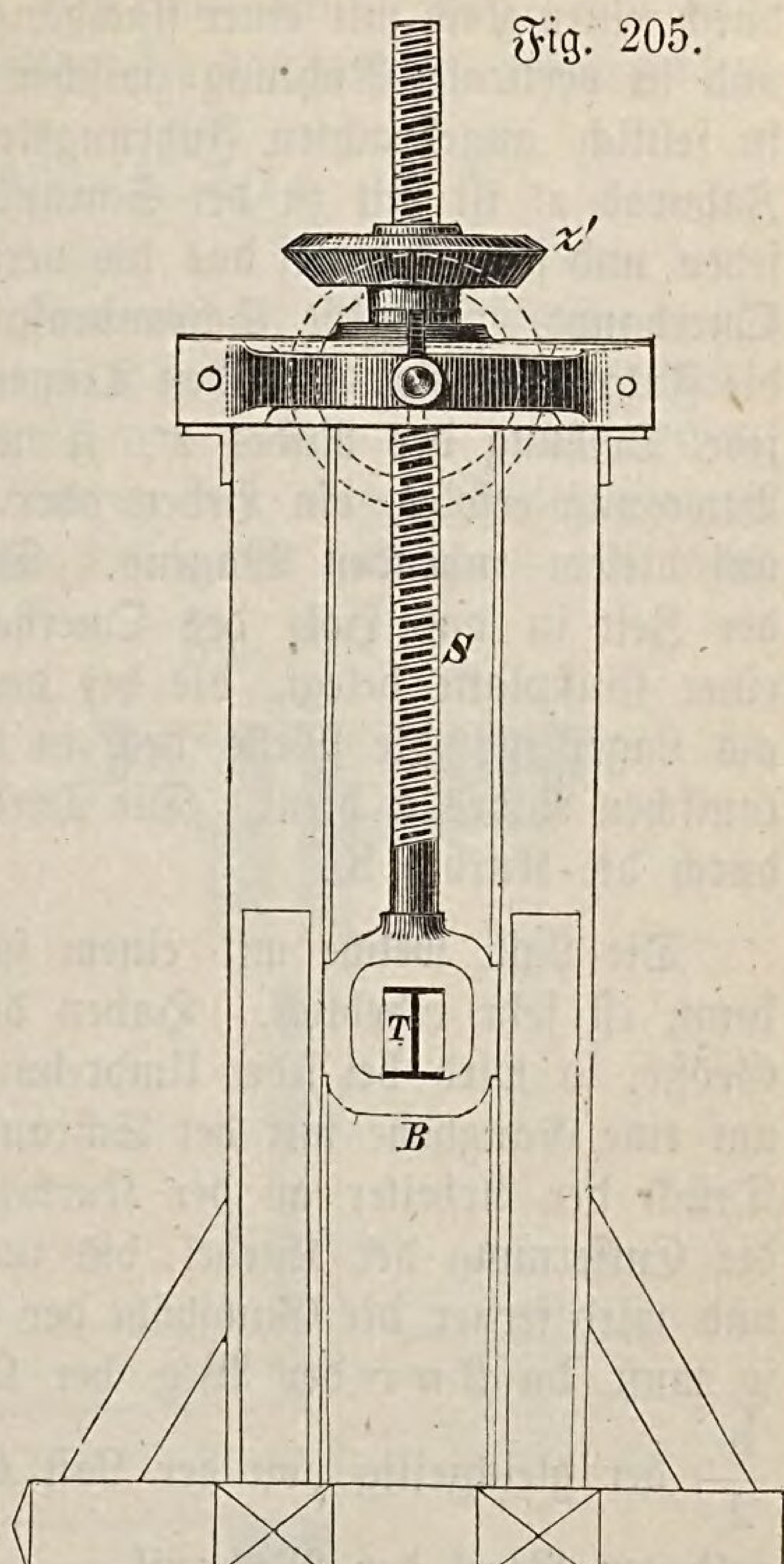


Fig. 205.



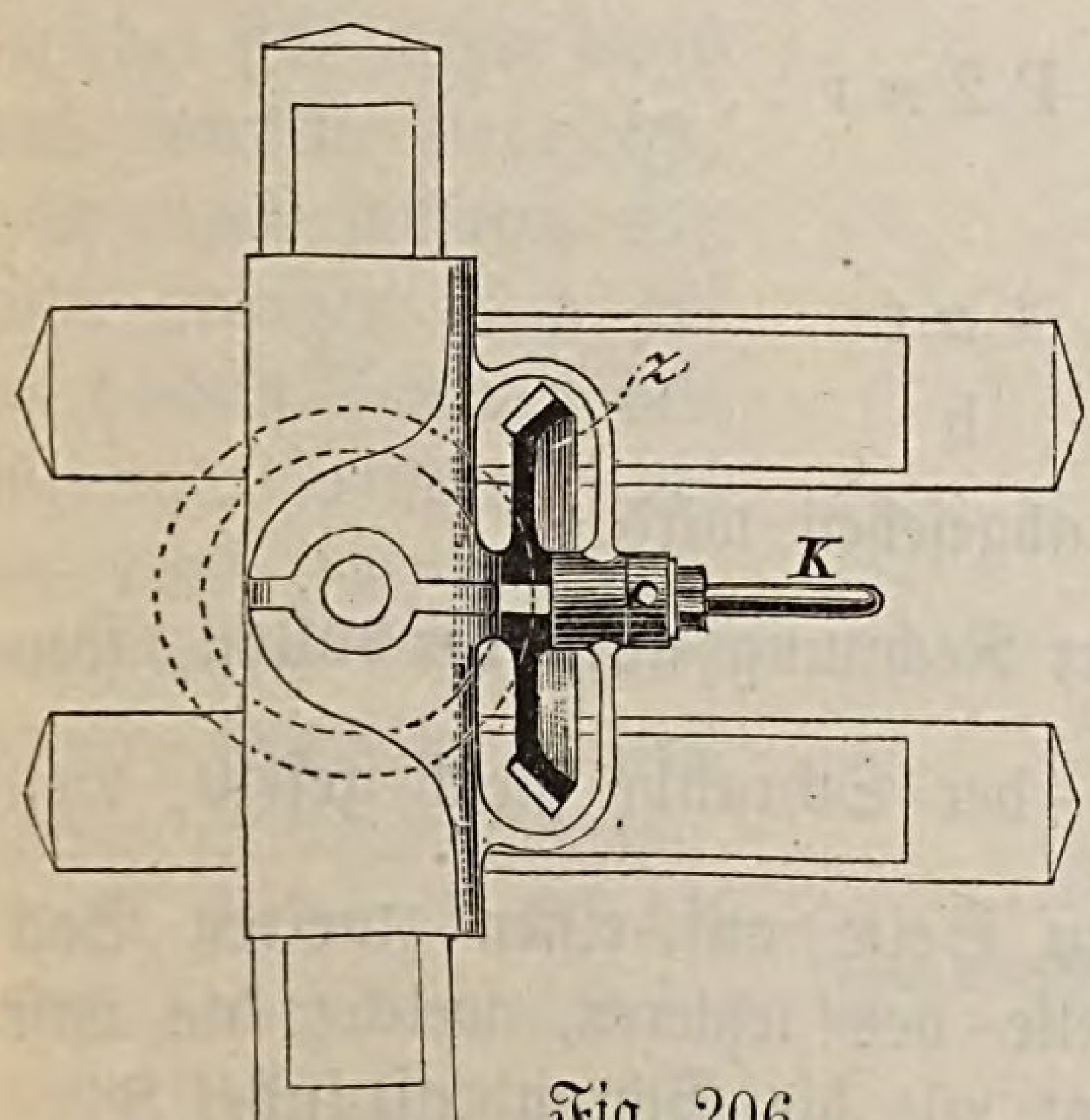


Fig. 206.

ersetzt wird, dient dem Wagenkasten als Unterlage und ruht in zwei Windeböcken, welche zu beiden Seiten des Wagens aufgestellt sind. Da der Wagen gleichzeitig vorn und hinten gehoben wird, so sind für jedes Fahrzeug also vier Windeböcke erforderlich. Die Stützen für die Träger T haben eine ringförmige Gestalt und sind oben

durch einen Keil mit einer flachgängigen Schraubenspindel verbunden und in verticaler Richtung zwischen den Ständern eines jeden Bockes in seitlich angebrachten Führungsleisten verschieblich. Das conische Zahnrad z' ist mit zu der Schraubenspindel passendem Gewinde versehen und stützt sich auf das die verticalen Ständer oben abschließende Querhaupt. Da die Schraubenspindel sich selbst zu drehen durch die Führungsleisten und den Träger T verhindert ist, so bewirkt eine jede Drehung des Rades z', je nach der Richtung, in welcher die Bewegung erfolgt, ein Heben oder Senken des Trägers T und des auf diesem ruhenden Wagens. Damit sich das Rad z' nicht mit der Zeit in das Holz des Querhauptes einarbeitet, ist dieses mit einer Gußplatte belegt, die bei der gezeichneten Anordnung zugleich als Lager für die Welle des in das erstere eingreifenden zweiten conischen Rades z dient. Die Drehung dieses zweiten Rades erfolgt durch die Kurbel K.

Die Last, welche mit einem solchen Windebocke gehoben werden kann, ist sehr erheblich. Haben die beiden Räder z und z' gleiche Größe, so wird bei jeder Umdrehung der Handkurbel K der Träger T um eine Ganghöhe mit der Schraubenspindel S gehoben oder gesenkt. Drückt der Arbeiter an der Kurbel K mit der Kraft P und beträgt die Entfernung der Kurbel bis zur Mittellinie des Rades z r mm und wird ferner die Ganghöhe der Schraubenspindel mit h bezeichnet, so muß, da $2\pi r$ der Weg der Kurbel bei einer Umdrehung und $\frac{h}{2}$ der gleichzeitig von der Last Q zurückgelegte Weg ist, nach der goldenen Regel der Mechanik

$$Q \cdot \frac{h}{2} = P\, 2\pi r$$

oder

$$Q = P \cdot \frac{4\pi r}{h}$$

sein, wenn von Reibungsverlusten abgesehen wird.

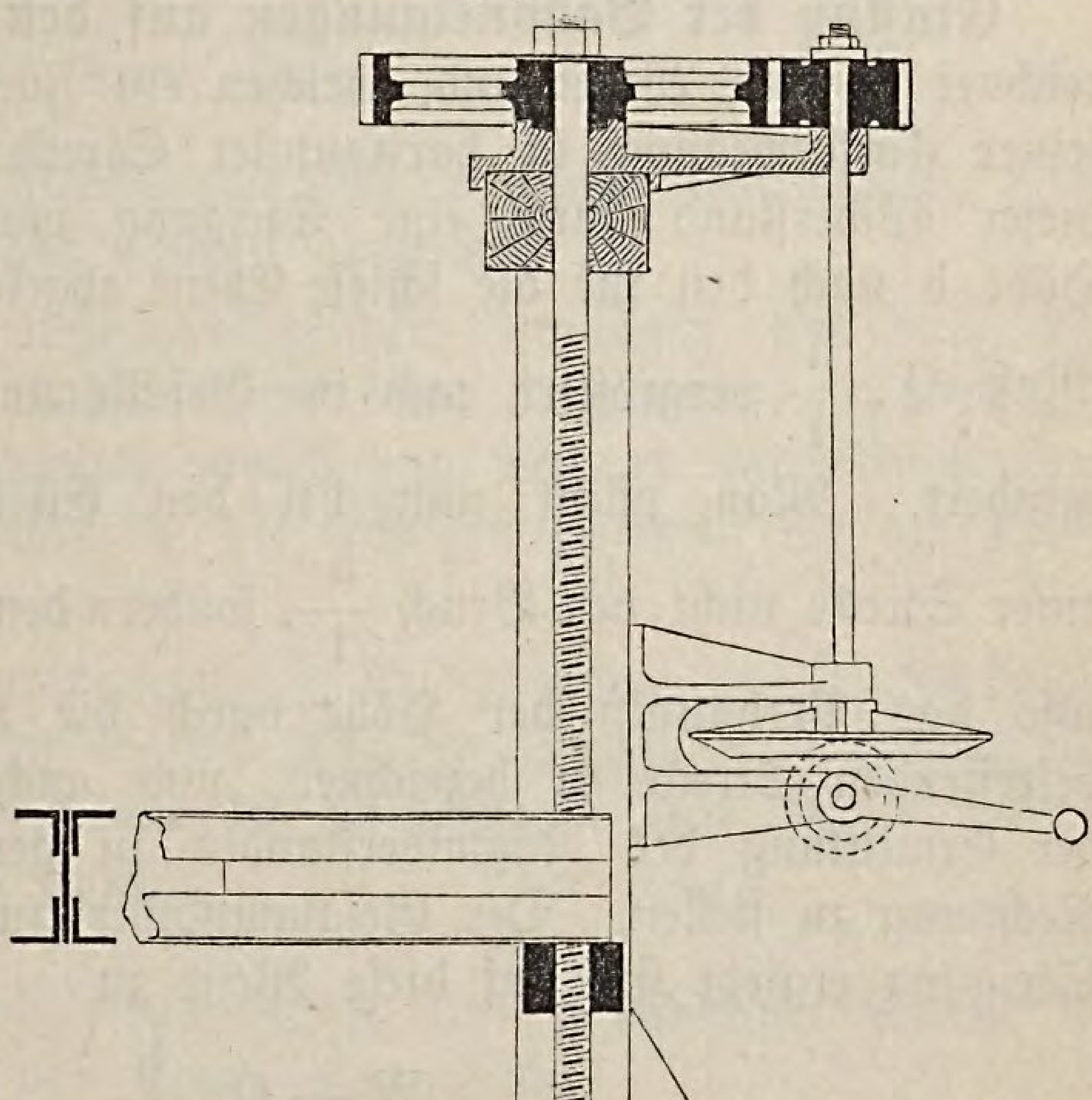
Der Weg der Last ist bei dieser Rechnung nicht der vollen, sondern nur der halben Ganghöhe $\frac{h}{2}$ der Schraube gleich gesetzt, weil sich die Mitte des an der anderen Seite auf einen zweiten Bock stützenden Trägers T, also die Stelle des letzteren, welche die Last aufnimmt, nur halb so rasch bewegt wie die Schraubenspindel S.

Wird r in unserer Formel zu 300 mm und h zu 10 mm und P zu 15 kg angenommen, so berechnet sich das mit den Windeböcken zu hebende Wagengewicht zu

$$Q = 15 \cdot \frac{4 \,.\, 300 \,.\, 2 \,.\, 3{,}14}{10}$$

oder zu 11304 kg. Wegen der Reibung in den Zahnrädern ist dieses Gewicht um etwa 8 %, und wegen der Reibung der Schraubenspindel in dem conischen Rade z′ und von diesem mit seiner Unterlage um weitere 65 % zu vermindern, bei obiger Kraftäußerung des Arbeiters an der Kurbel ermäßigt sich das zu hebende Gewicht daher auf etwa 3,6 Tonnen.

Fig. 207.



Die mit der angegebenen Bockwinde auszuübende Kraft wird verstärkt, wenn man die Zahnräder z und z′ verschieden, und zwar das erstere kleiner als z′ anordnet; trotzdem aber würde auch in dieser Form die Winde noch nicht zum Hochheben von Locomotiven genügen. Für letzteren Zweck wird noch ein zweites Vorgelege nothwendig.

Locomotiv-Windebock. Dieser bekommt meist die Gestalt der Fig. 207. Er unterscheidet sich, außer durch das doppelte Vorgelege, auch noch dadurch von dem vorigen, daß der an beiden Seiten gabelförmige Träger nicht an dem oberen Querhaupte des Windebockes hängt, sondern auf dem unteren Querbalken ruht. Die Schraubenspindel wird dabei auf rückwirkende Festigkeit in An-

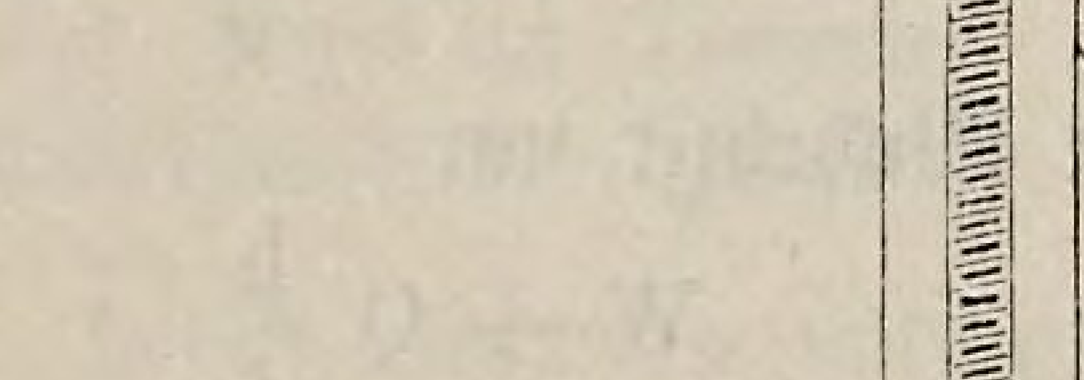


Fig. 208.

spruch genommen. Abweichend von der vorigen Anordnung sitzt das obere Zahnrad fest auf der Schraubenspindel, während die dem Träger als Stütze dienende Mutter mit entsprechendem Gewinde versehen ist.

Die Schraubenspindeln der Windeböcke bestehen aus Stahl oder Schmiedeisen. Während die dem Träger als Stütze dienende Mutter des Windebockes der Fig. 207 ebenfalls ganz aus Schmiedeisen zu bestehen pflegt, muß das gußeiserne Zahnrad z′ der Fig. 204—206 mit einer Büchse aus Bronce ausgefüttert werden, weil gußeisernes Gewinde für vorliegende Zwecke zu wenig haltbar sein und bald ausbröckeln würde.

Einfluß der Bahnneigungen auf den Zugwiderstand. Bezeichnet W den Widerstand, welchen ein Zug von dem Gewichte Q seiner Fortbewegung in horizontaler Strecke entgegensetzt, so wird dieser Widerstand durch eine Steigung von der Länge l und der Höhe h nach den für die schiefe Ebene abgeleiteten Gesetzen um das Maß $Q \cdot \frac{h}{l}$ vergrößert, und im Gefälle um das gleiche Maß vermindert. Man pflegt nun bei den Eisenbahnen als Steigung einer Strecke nicht den Bruch $\frac{h}{l}$, sondern den Bruch $\frac{h}{g}$ (Fig. 199), also das Verhältniß der Höhe durch die Horizontalprojection der betreffenden Strecke zu bezeichnen, und auch dieses Verhältniß bei der Ermittlung des Zugwiderstandes in geneigten Bahnstrecken in Rechnung zu stellen. Der Gesammtwiderstand des Zuges in obiger Steigung ergiebt sich auf diese Weise zu

$$W + Q \cdot \frac{h}{g}$$

während er doch in Wahrheit nur

$$W + Q \frac{h}{l}$$

beträgt.

Der Fehler, welcher durch die Verwechselung der wahren Länge l der Bahnstrecke mit der Länge g ihrer Horizontalprojection (ihrer Grundlinie oder Basis) begangen wird, ist bei allen den Bahnstrecken, zu deren Ersteigung die gewöhnlichen Locomotiven genügen, auf welchen also keine Zahnradmaschinen oder kein Seilbetrieb vorkommt, so gering, daß er praktisch ohne Bedeutung bleibt.

Die bewegende Kraft der Locomotiven ist, wenn von den nur ausnahmsweise vorkommenden Zahnradlocomotiven und von einigen

Bahnen mit Seilbetrieb abgesehen wird, die Reibung der gekuppelten Räder mit den Schienen. Wird der obige Zugwiderstand $W + Q \frac{h}{g}$ größer als diese Reibung*), so tritt ein Schleudern der Treibräder ein.

Bezeichnet f den Adhäsionscoefficienten, so nimmt die für horizontale Strecken $f . Q$ betragende Adhäsion der Treibräder in unserer Steigung auf $f . Q \frac{g}{l}$ ab, für geneigte Strecken vermindert sich daher die Maximalzugkraft einer Locomotive gegen die auf horizontaler Bahn stattfindende in dem Verhältnisse von g zu l. Auch diesem Umstande wird in der Praxis bei den gewöhnlichen Bahnen keine Rechnung getragen, da der Bruch $\frac{g}{l}$ für Steigungen von z. B. 1 : 40, welche selbst auf Gebirgsstrecken nur ungern überschritten werden, noch nicht um 0,0004 von der Einheit abweicht.

Für Bahnen mit außergewöhnlichen Neigungen, wie sie z. B. bei Seilbetrieb und bei Zahnradlocomotiven vorkommen, gestalten sich die Verhältnisse oft wesentlich anders und wird es unter Umständen nöthig, statt der gebräuchlichen, die richtigen Formeln für die Rechnung zu benutzen.

Meist wird der Zugwiderstand in Kilogrammen pro Tonne Zuggewicht angegeben und in neuerer Zeit an Stelle der Bahnneigung die Steigung oder das Gefälle in Millimetern pro Meter Bahnlänge für die Rechnung benutzt.

Bezeichnen

- w den Widerstand eines Zuges auf horizontaler Strecke in Kilogrammen pro Tonne Zuggewicht,
- Q das Gewicht des Zuges in Tonnen,
- W den Gesammtwiderstand des Zuges in Kilogrammen

auf der Steigung $\frac{h}{g}$, so ist, wenn h und g in derselben Maßeinheit, z. B. in Metern ausgedrückt sind,

$$W = Q . w + 1000 . Q \frac{h}{g} \text{ kg}$$

---

*) Anmerkung Die Reibung der gekuppelten Räder mit den Schienen pflegt als „Adhäsion“, und der Bruch, mit welchen der Druck dieser Räder gegen die Schienen multiplicirt werden muß, um ihre Adhäsion zu ermitteln, als „Adhäsionscoefficient“ bezeichnet zu werden.

und, wenn x die Steigung pro Meter Bahnlänge in Millimetern bezeichnet,

$$W = Q \,.\, w + Q \,.\, x = Q\,(w + x)\ \mathrm{kg}.$$

Im Gefälle ist x negativ, es wird also im Gefälle

$$W = Q \,.\, w - Q\,x = Q\,(w - x).$$

Aufgabe. Ein Zug von dem Gewichte Q gleich 500 Tonnen bewegt sich in horizontaler Strecke mit einem Eigenwiderstande w gleich 4 kg pro Tonne; es soll sein Gesammtwiderstand in der Steigung und im Gefälle von 1:500 ermittelt werden.

1. Auflösung. Da die Neigung der Bahn, also das Verhältniß $\frac{h}{g}$ gleich $\frac{1}{500}$ sein soll, so ergiebt sich W in der Steigung zu

$$W = Q\,w + 1000 \,.\, Q \cdot \frac{1}{500}$$

oder, nach Einsetzung der Werthe für Q und w in die Formel, zu

$$W = 500 \,.\, 4 + 1000 \,.\, 500 \cdot \frac{1}{500} = 3000\ \mathrm{kg}$$

und im Gefälle zu

$$W = 500 \,.\, 4 - 1000 \,.\, 500\, \frac{1}{500} = 1000\ \mathrm{kg}.$$

2. Auflösung. In der Steigung von 1:500 erhebt sich das Gleise pro Meter Bahnlänge um 2 Millimeter, es ist also das x unserer früheren Formel gleich 2 und daher in der Steigung

$$W = 500\,(4 + 2) = 3000\ \mathrm{kg},$$

und im Gefälle

$$W = 500\,(4 - 2) = 1000\ \mathrm{kg}.$$

Festigkeit der Materialien. Bei den bisherigen Untersuchungen ist auf die Dimensionen keine Rücksicht genommen, welche Maschinentheile, z. B. die Hebel der Waagen, die Zähne der Räder ꝛc., haben müssen, damit sie den auf sie einwirkenden Kräften zu widerstehen im Stande sind. Je nach dem Auftreten dieser Kräfte werden die Körper auf absolute, rückwirkende, relative, Torsions- und auf Abscheerungsfestigkeit in Anspruch genommen.

1) Die **absolute Festigkeit** eines Körpers kommt in Frage, wenn eine in der Richtung seiner Längsachse wirkende Kraft seine Fasern auseinander zu ziehen, also den Körper zu zerreißen sucht, ein Fall, der beispielsweise für eine aufgehängte Stange eintritt, welche mit einem Gewichte belastet wird.

2) Die **rückwirkende Festigkeit** kommt bei obiger Stange in Frage, wenn sie mit ihrem unteren Ende auf dem Fußboden ruht und oben durch ein Gewicht belastet wird, welches also die Stange zu zerdrücken sucht.

3) **Relative Festigkeit.** Ruht die Stange mit ihren beiden Enden auf festen Unterlagen, so sucht eine in ihrer Mitte angehängte Last sie abzubrechen. Der Widerstand, welchen die Stange dem Bruche entgegensetzt, wird ihre relative Festigkeit genannt.

4) **Torsionsfestigkeit.** Wird die Stange an ihrem einen Ende fest eingespannt, z. B. zwischen den Backen eines Schraubstockes, während am anderen Ende wirkende Kräfte sie zu verdrehen suchen, so wird sie schließlich, wenn die Befestigung nicht nachgiebt, abgedreht oder abgewürgt. Der Widerstand, welchen ein Körper einer derartigen Zerstörung entgegensetzt, wird seine Torsionsfestigkeit genannt.

5) **Abscheerungsfestigkeit.** Wird eine Blechtafel durch eine Scheere zerschnitten oder unter der Stoßmaschine ein Loch durch dieselbe gepreßt (nicht gebohrt), so werden die betreffenden Fasern weder zerdrückt noch abgerissen, sondern vielmehr seitlich gegeneinander verschoben und so getrennt. Der Widerstand, den der Körper dieser Trennung entgegensetzt, wird als seine Abscheerungsfestigkeit bezeichnet.

Bevor ein Körper in oben angegebener Weise entweder abgerissen, zerdrückt, abgebrochen oder abgewürgt wird, giebt er den auf ihn einwirkenden Kräften bis zu einer gewissen Grenze — der Bruchgrenze — nach, indem der Körper sich mehr oder weniger verlängert, verkürzt, verbiegt oder verdreht. Alle diese Bewegungen fallen bis zu einer gewissen Grenze den einwirkenden Kräften proportional aus und verschwinden vollständig, die Stange in obigem Falle nimmt also wieder ihre ursprüngliche Form an, sobald die Kräfte zu wirken aufhören. Ueber diese Grenze hinaus, welche für verschiedene Materialien ebenfalls verschieden ist, und welche die Elasticitätsgrenze des Körpers genannt wird, nehmen belastete Körper, wenn die Belastung aufhört, nicht wieder ihre ursprüngliche Form an, sie bekommen also bleibende Formveränderungen.

Die Elasticitätsgrenze eines Körpers ist stets kleiner als seine Bruchgrenze, es bringt also eine Belastung schon eine bleibende Formveränderung hervor, welche vielleicht lange noch nicht genügt, den Körper zu brechen.

Bezüglich der Erzeugung einer bleibenden Formveränderung und bezüglich des Maßes für diese Formveränderung ist es nicht einerlei, wie lange Zeit der Körper unter der Einwirkung der Kraft steht. Die Formveränderungen wachsen im Allgemeinen mit der Dauer

der Belastung, sie sind aber keineswegs dieser Dauer proportional. Es kann aus diesem Grunde recht wohl der Fall eintreten, daß ein Körper, welcher ohne zerstört zu werden eine kürzere Zeit eine bestimmte Last zu tragen im Stande ist, endlich zerbricht, wenn die Last nicht rechtzeitig entfernt oder wenn sie wiederholt aufgebracht wird. Es setzt aber ein jeder so entstandene Bruch stets eine Last voraus, welche die Elasticitätsgrenze des Körpers übersteigt.

Die Betrachtung zeigt, daß zur Ermittlung der erforderlichen Dimensionen eines Körpers nicht nur bekannt sein muß, bei welcher Belastung er bricht, sondern auch, bei welcher Belastung er seine Form dauernd verändert.

6) **Absolute Festigkeit und Elasticitätsgrenze — Elasticitätsmodul.** Wenn man eine vertical aufgehängte Stange von überall gleichem Querschnitte am unteren Ende innerhalb ihrer Elasticitätsgrenze nach und nach belastet, so findet man:

1. Die Verlängerung der Stange fällt der angewandten Belastung proportional aus.
2. Die Verlängerung der Stange ist ihrer ursprünglichen Länge proportional.
3. Die Verlängerung der Stange ist ihrem Querschnitte umgekehrt proportional.
4. Die Verlängerung der Stange ist abhängig von ihrem Materiale.

7) **Festigkeitsmodul.** Als Festigkeitsmodul eines Körpers wird das Gewicht bezeichnet, unter welchem ein Körper von dem betreffenden Materiale und von einem Quadratcentimeter Querschnitt*) reißt. Dieses Gewicht beträgt z. B. für Schmiedeisen 4000 kg, für Gußeisen 1300 kg, für Stahl 6000—8000 kg, für harte Hölzer 800 kg 2c. Wirkt die Last nicht auf ein Abreißen, sondern auf ein Zerdrücken des Stabes — im letzteren Falle ist stets angenommen, der Stab sei so kurz, daß ein Zerknicken desselben ausgeschlossen sei — so tritt die Zerstörung bei einer anderen Belastung ein. Diese ist beispielsweise für Schmiedeisen 3000 kg, für Gußeisen 7000 kg, für Stahl 6000—1,0000 kg und für harte Hölzer 600 kg.

Elasticitätsgrenze. Es wurde bereits angegeben, daß eine weit geringere als die Bruchbelastung genügt, eine bleibende Formveränderung des Körpers und, bei hinreichender Dauer der Belastung,

---

*) Anmerkung. Die weiteren Angaben beziehen sich stets auf Stäbe von gleichem Querschnitte, eventuell ist ein Abweichen von diesem Querschnitte ausdrücklich vermerkt.

auch den Bruch des Körpers zu veranlassen. Man erkennt diese Belastung, bestimmt also die Elasticitätsgrenze eines Körpers, indem man ihn mit verschiedenen Gewichten belastet und untersucht, bei welchem Maße der Belastung zuerst eine bleibende Formveränderung eintritt. Dieses Gewicht bezeichnet die Elasticitätsgrenze des Körpers. Ebenso wie der Festigkeitsmodul fällt auch die Elasticitätsgrenze für Zug- und Druckspannungen für viele Körper nicht überein aus. Diese Grenze beträgt z. B. für Zugspannungen bei Schmiedeisen 1400 kg, bei Gußeisen 500 kg, bei Stahl 2500 bis 5000 kg und bei harten Hölzern 200 kg, während sie sich bei den gleichen Materialien für Druckspannungen beziehungsweise auf 1400, 1400, 2500—5000 und auf 200 kg stellt.

8) **Elasticitätsmodul.** Man bezeichnet als Elasticitätsmodul eines Körpers das Gewicht, welches, wenn das überhaupt ohne ein Zerreißen des Stabes möglich sein würde, im Stande wäre, einen Stab auf das Doppelte seiner Länge auszudehnen. Der Elasticitätsmodul wird gefunden, indem man einen Stab innerhalb der Elasticitätsgrenze belastet. Das Verhältniß der ursprünglichen Länge des Stabes zu dem Maße seiner Ausdehnung unter der Belastung ist dem Verhältnisse des Elasticitätsmoduls zur angewandten Belastung proportional. Dehnt sich beispielsweise eine Gußstahlstange mit einem Quadratcentimeter Querschnitt und von 1000 mm Länge unter einer Belastung von 2500 kg um einen Millimeter aus, so findet die Beziehung 1000 mm zu 1 mm wie Elasticitätsmodul (x) zu 2500 statt, der Elasticitätsmodul für Gußstahl berechnet sich daher:

$$1000 : 1 = x : 2500 \text{ und } x = \frac{1000 \,.\, 2500}{1} = 2500000.$$

9) **Sicherheitsmodul.** Es würde nicht statthaft sein, irgend einen Theil einer Maschine, eines Bauwerkes 2c. bis zur Elasticitätsgrenze des Materials zu belasten. Selbst abgesehen davon, daß diese noch keineswegs unzweifelhaft sicher für alle Körper bestimmt ist, können verborgene Materialfehler, Abnutzungen im Betriebe und andere Umstände die Grundlagen der Rechnung umstoßen und die gewonnenen Resultate beeinflussen. Man bestimmt aus diesem Grunde die Abmessungen von Trägern, Säulen und anderen Constructionstheilen in der Praxis so, daß die stärksten Beanspruchungen des Materials pro Quadratcentimeter Querschnitt in einem bestimmten Verhältnisse hinter der Beanspruchung zurückbleiben, unter welcher diese Theile brechen würden. Dieses Verhältniß wird der Sicher-

heitsmodul oder die Sicherheit der Construction genannt. So würde z. B. ein schmiedeiserner Stab von einem Quadratcentimeter Querschnitt unter der Einwirkung einer Last von 4000 kg abreißen. Beträgt nun die wirkliche Belastung des Stabes in einem bestimmten Falle nur 800 kg, so ist eine $\frac{4000}{800}$ = fünffache Sicherheit gegen Bruch vorhanden, der Sicherheitsmodul ist also gleich 5. Die Sicherheit gegen Bruch ist in vorstehendem Beispiele nicht so groß, wie es nach der gefundenen Zahl 5 erscheinen könnte. Die Elasticitätsgrenze des Schmiedeisens liegt nämlich bei 1400 kg, es würde eine dauernde Belastung des Stabes mit mehr als 1400 kg diesen also schon gefährden. Die Sicherheit gegen bleibende Formveränderungen und durch diese etwa veranlaßte Brüche beträgt demnach nur $\frac{1400}{800}$ oder $1^3/_4$.

Die folgende, Heusinger v. Waldegg's Kalender pro 1880 für Eisenbahntechniker (Verlag von J. F. Bergmann in Wiesbaden) entnommene Tabelle giebt die Druck- und Zugfestigkeit sowie die entsprechenden Elasticitätsgrenzen und den Elasticitätsmodul (derselbe fällt für Zug- und Druckkräfte überein aus) für die gebräuchlichsten Körper an. Die bezüglichen Angaben über Druck setzen stets Körper von geringer Länge, bei welchen deren Zerknicken ausgeschlossen ist, voraus.

Elasticität und Festigkeit verschiedener Materialien für den qcm.

Material	Festigkeit		Elasticitätsgrenze		Elasticitätsmodul für
	Zug kg	Druck kg	Zug kg	Druck kg	Zug u. Druck kg
Schmiedeisen	4000	3000	1400	1400	2,000,000
Eisendraht	6500	—	2400	—	2,000,000
Gußeisen	1300	7000	500	1400	1,000,000
Gewöhnlicher Stahl . .	6000	6000	2500	2500	2,200,000
Gußstahl	8000	10000	5000	5000	2,500,000
Kupferblech	3000	4000	500	400	1,000,000
Messing	1200	730	500	—	640,000
Blei (gewalzt)	130	500	100	—	50,000
Harte Hölzer	800	600	200	200	120,000
Weiche Hölzer	680	450	140	140	100,000
Basalt	—	1200	—	—	—
Kalkstein	—	100—400	—	—	—
Sandstein	60	150—600	—	—	—
Guter Ziegelstein . . .	20	100	—	—	—
Gewöhnlicher Ziegelstein .	—	60	—	—	—
Cementmörtel	18	100	—	—	—
Kalkmörtel	—	60	—	—	—

Bei 10facher Sicherheit darf die Beanspruchung auf Druck, bezogen auf den qcm,

bei Ziegelmauerwerk	8 kg,
bei Bruchsteinmauerwerk	10 kg,
bei Klinkermauerwerk	15 kg,
bei Quadermauerwerk aus mittelharten Steinen	20 kg,
desgleichen aus harten Steinen	30 kg,
bei Cement	18 kg,
bei Beton	8—10 kg

nicht übersteigen.

Der Widerstand gegen Schub oder Abscheerung ist zu 0,8 des Zugwiderstandes anzunehmen. (Bei Holz beträgt die Abscheerungsfestigkeit in der Richtung der Fasern jedoch nur etwa 70 kg für den qcm). Der Elasticitätsmodul für Schub ist zu 0,4 desjenigen für Zug und Druck anzunehmen.

Die zulässige Inanspruchnahme bei Bau- und Maschinenconstructionen beträgt:

a) Bei Hochbauconstructionen, die nur geringen Erschütterungen und Belastungsänderungen unterworfen sind, und deren Inanspruchnahmen sehr scharf ermittelt werden können, sowie bei provisorischen Bauten für geringe Zeitdauer: etwa 0,7 der Elasticitätsgrenze oder, wo diese nicht bekannt, $^1/_7$ der Festigkeit; also bei

	Zug	Druck	Schub	
Schmiedeisen	1000	1000	800	
Gußeisen	350	1000	290	
Holz	100	100	80	(in der Faserrichtung).

b) Bei gewöhnlichen Hochbauconstructionen ohne große Erschütterungen: etwa 0,6 der Elasticitätsgrenze oder, wo diese unbekannt, etwa $^1/_9$ der Festigkeit; also bei

	Zug	Druck	Schub	
Schmiedeisen	840	840	670	
Gußeisen	300	840	240	
Holz	84	84	67	(in der Faserrichtung).

c) Bei Brückenconstructionen, bei Hochbauconstructionen, die starken Erschütterungen ausgesetzt sind (Räume, in denen schwere Lasten geworfen werden), sowie bei ruhenden Maschinentheilen: etwa 0,5 der Elasticitätsgrenze oder, wo diese unbekannt, etwa $^1/_{10}$ der Festigkeit; also bei

	Zug	Druck	Schub	
Schmiedeisen	700	700	560	
Gußeisen	250	700	200	
Holz	70	70	56	(in der Faserrichtung).

d) Bei beweglichen Maschinentheilen, die nur geringen Stößen ausgesetzt sind: etwa 0,4 der Elasticitätsgrenze oder, wo diese unbekannt, $^1/_{13}$ der Festigkeit; also bei

	Zug	Druck	Schub
Schmiedeisen	560	560	450
Gußeisen	200	560	160

e) Bei Maschinentheilen, die heftigen Stößen, plötzlichen Geschwindigkeits- und Spannungsänderungen ausgesetzt sind, nehme man $^1/_2$ bis $^1/_4$ der unter d angegebenen Belastungen.

Abmessungen von Constructionstheilen, welche auf absolute oder welche auf rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommen werden. Die Berechnung der erforderlichen Abmessungen von Constructionstheilen, welche auf absolute oder auf rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommen werden, gestaltet sich verhältnißmäßig einfach.

Bezeichnet
F den Querschnitt des Körpers in Quadratcentimetern,
Q die Belastung (Zug- oder Druckbelastung) in Kilogrammen,
s den zur Anwendung kommenden Sicherheitscoefficienten gegen Bruch,
p die Belastung pro qcm Querschnitt, unter welcher der Bruch erfolgt,
so ergiebt sich die zulässige Belastung für jeden qcm Querschnitt zu

$$\frac{1}{s} \cdot p \text{ kg},$$

und die zulässige Belastung für den vorhandenen Querschnitt F zu

$$\frac{1}{s} \cdot p \,.\, F \text{ kg}.$$

Dieser Werth darf nicht größer, er braucht aber auch nicht kleiner zu sein als die vorhandene Belastung Q, es ist daher zu setzen

$$Q = \frac{1}{s} \cdot p \,.\, F \text{ kg}.$$

Diese Formel dient zur Ermittelung der zulässigen Belastung Q eines Körpers vom Querschnitte F, wenn eine s fache Sicherheit gegen Bruch verlangt wird.

Aufgabe. Es soll ermittelt werden, welches Gewicht an eine schmiedeiserne Stange von 3,5 qcm Querschnitt gehängt werden darf, wenn eine 10 fache Sicherheit gegen Bruch verlangt wird.

Auflösung. Nach der Aufgabe ist s = 10 und F = 3,5. Da nun nach unserer Tabelle die Festigkeit des Schmiedeisens gegen Zug 4000 kg beträgt, so wird $Q = \frac{1}{10} \cdot 4000 \,.\, 3{,}5 = 1400$ kg.

Wird dieselbe Stange auf Druck in Anspruch genommen, ruht also die zu ermittelnde Last auf ihr, so berechnet sich diese zu nur

$$Q = \frac{1}{10} \cdot 3000 \,.\, 3{,}5 = 1050 \text{ kg},$$

da die Festigkeit des Schmiedeisens gegen Druck nur 3000 kg beträgt.

Aufgabe 2. Es soll ermittelt werden, um welches Maß sich die obige Stange bei einer Länge l von 20 m unter der Einwirkung einer an ihr hängenden Last von 1200 kg ausdehnt.

Auflösung. Da der Elasticitätsmodul, der fernerhin mit E bezeichnet werden soll, für Schmiedeisen 2000000 beträgt, so würde die Stange bei nur einem qcm Querschnitt durch Anhängung einer Last von einem kg um $\frac{1}{E}$ ihres ursprünglichen Maßes, also um $\frac{1}{E}$ Meter oder um $\frac{1000 \,.\, l}{E}$ mm verlängert werden. Bei ihrem Querschnitte von F qcm vermindert sich dieses Maß offenbar auf

$$\frac{1000 \,.\, l}{E \,.\, F} \text{ mm}$$

unter der gleichen Belastung, während es durch die Vergrößerung der Last auf Q kg sich um das Q fache, also auf

$$Q \cdot \frac{1000 \,.\, 1}{E \,.\, F} = 1200 \cdot \frac{1000 \,.\, 20}{2000000 \,.\, 3{,}5} = 3{,}43 \text{ mm}$$

vergrößert. Eine Last von 1200 kg bewirkt also bei einer schmiedeisernen Stange von 3,5 qcm Querschnitt und von 20 m Länge eine Ausdehnung von 3,43 mm.

Aufgabe 3. Es soll ermittelt werden, welchen Querschnitt eine schmiedeiserne Stange bekommen muß, wenn sie eine angehängte Last von 1000 kg mit achtfacher Sicherheit gegen Bruch tragen soll.

Auflösung. Aus unserer Formel

$$Q = \frac{1}{s} \cdot p \,.\, F$$

ergiebt sich der gesuchte Querschnitt F zu

$$F = \frac{s \,.\, Q}{p} \text{ qcm}$$

oder, wenn für s, p und P die betreffenden Werthe eingesetzt werden, zu

$$F = \frac{8 \,.\, 1000}{4000} = 2 \text{ qcm.}$$

Ist die Stange rund, so entspricht einem Querschnitte von 2 qcm ein Durchmesser von 16 mm, die Stange muß also 16 mm Durchmesser bekommen.

Wollte man die Last auf die unten gestützte Stange legen, so würde die Festigkeit des Schmiedeisens gegen Druck in Frage kommen, und der Querschnitt F, da diese nur 3000 kg beträgt, sich zu

$$F = \frac{8 \,.\, 1000}{3000} = 2{,}66 \text{ qcm}$$

ergeben.

Dimensionen von Constructionstheilen, welche auf relative Festigkeit in Anspruch genommen werden. Der einfachste Fall, welcher hier in Frage kommen kann, ist der, wenn ein an einem Ende eingemauerter horizontaler Balken von viereckigem Querschnitte an seinem anderen Ende belastet ist.

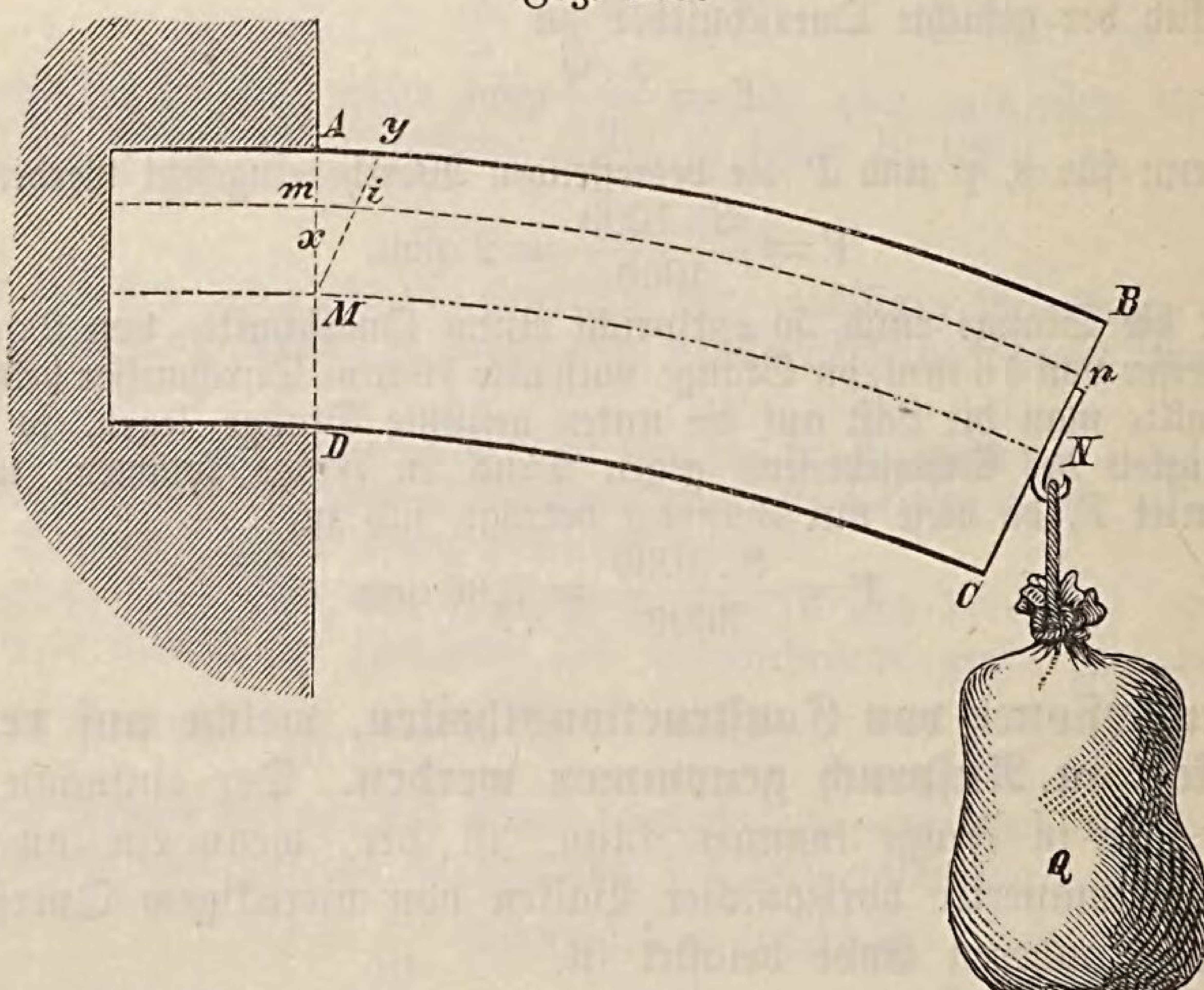
Bezeichnet in Fig. 209 ABCD einen hölzernen Balken, welcher hinten bei AD fest eingemauert und vorn durch ein Gewicht Q belastet ist, so wird sich dieser Balken etwas durchbiegen, wobei sich seine oberen Fasern verlängern und seine unteren Fasern sich verkürzen. Diese Verlängerungen und Verkürzungen nehmen mehr und mehr ab, je näher die Fasern der Mittelachse MN des Balkens liegen, und verschwinden gänzlich für diese Mittellinie, welche die neutrale Faserschicht oder die neutrale Achse des Balkens genannt wird.

Der Widerstand, welchen die oberhalb der neutralen Achse liegenden Fasern ihrer Verlängerung entgegensetzen, ist dem gleich, welcher bei der Verkürzung der unteren Fasern auftritt, es genügt demnach,

den Gesammtwiderstand aller oberhalb der neutralen Achse belegenen Fasern bei der Biegung des Balkens zu ermitteln, weil dadurch auch der Widerstand für die untere Hälfte des Balkens bekannt wird.

Wird durch den Punkt M die Linie My parallel zur Linie CB gezogen, so hat die gebogene Linie yB nahezu genau die gleiche Länge wie die neutrale Faserschicht MN, es bezeichnet also die Linie yA das Maß der Verlängerung der Faser AB durch die Biegung des Balkens. Für die weiter nach der Mitte zu und in dem Abstande Mm gleich x von der letzteren belegene Faser ergiebt sich diese Verlängerung zu mi. Es ist nun aus der Figur leicht er-

Fig. 209.



sichtlich, daß das Maß mi in demselben Verhältnisse wächst, in welchem die betreffende Faser mn sich weiter von der neutralen Achse MN entfernt.

Nach den bisherigen Untersuchungen fällt aber die Verlängerung eines Körpers der die Verlängerung hervorbringenden Last oder Kraft proportional aus, es wird also, wenn q den Widerstand bezeichnet, welchen die Faser in ihrer Verlängerung auf mn entgegensetzt, q dem Abstande x des Punktes m von dem Punkte M proportional wachsen.

Wird demnach die Spannung einer in der Entfernung gleich einem Centimeter von der neutralen Achse MN abstehenden Faser bei 1 qcm Querschnitt und 1 cm Breite mit p bezeichnet, so ergiebt

sich die Spannung q für jede in der Entfernung x von M abstehende Faser mit gleichem Querschnitte und gleicher Breite zu

$$q = p \,.\, x$$

und zu

$$q = b \,.\, p \,.\, x,$$

wenn die Breite der betreffenden Faserschicht (normal zur Bildfläche der Figur) gleich b wird.

Die Faser m n sucht den Balken mit der Kraft q an dem Hebelarme x in seine ursprüngliche Lage vor der Biegung zurück zu drehen, das betreffende Moment — Kraft mal Hebelarm — ergiebt sich daher zu x . q oder, wenn für q der eben gefundene Werth benutzt wird, zu

$$x \,.\, b \,.\, p \,.\, x = b \,.\, p \,.\, x^2.$$

Was aber für diese eine Faser zutrifft, findet auch bei jeder anderen, oberhalb der neutralen Achse belegenen Faser statt, man braucht demnach nur für jede einzelne derselben den Werth von $b \,.\, p \,.\, x^2$ zu ermitteln, um in der Summe aller dieser das Gesammtmoment zu finden, mit welchem die obere Hälfte des Balkens der Biegung widersteht.

Wird diese Summe für alle oberhalb der neutralen Schicht belegenen Fasern mit

$$\tfrac{1}{2} \Sigma b \,.\, p \,.\, x^2$$

bezeichnet*), so fällt, da die zusammengedrückten Fasern unterhalb der neutralen Schicht der Biegung des Balkens in gleichem Sinne und mit gleicher Kraft entgegenwirken, die Summe aller der Biegung wiederstehenden Momente gleich

$$\Sigma b \,.\, p \,.\, x^2 \text{ aus.}$$

Für den Gleichgewichtszustand müssen die Momente, welche der Biegung entgegenwirken, dem die Biegung veranlassenden Momente gleich sein, es muß also, da das letztere Moment offenbar gleich Q . l ist, wenn mit l die Länge der Faser MN bezeichnet wird,

$$Q \,.\, l = \Sigma b \,.\, p \,.\, x^2 \text{ sein.**)}$$

Die neutrale Faserschicht in unserer Figur, also die Schicht MN, geht nur bei solchen Querschnittsformen durch die Mitte des Balkens,

*) Anmerkung. Der griechische Buchstabe Σ ist zur Bezeichnung einer Summe in der Mechanik gebräuchlich.

**) Anmerkung. Es ist dabei keine Rücksicht auf den Umstand genommen, daß durch die Biegung des Balkens sich der Abstand des Punktes N von der Mauer etwas verkürzt. Der Ausdruck Σbpx^2 wird in der Mechanik als das „Trägheitsmoment" des Querschnitts bezeichnet.

welche, wie z. B. ein Kreis oder ein Rechteck, oberhalb und unterhalb dieser Schicht symmetrisch geformt sind. Ueberall dort, wo, wie das z. B. bei einem dreieckigen Querschnitte der Fall sein würde, diese Bedingung nicht zutrifft, geht die neutrale Achse durch den Schwerpunkt der Querschnittsfigur.

Bei unserer Rechnung wurde mit p die Spannung der Faser bezeichnet, welche bei einem Querschnitte von einem Quadratcentimeter in 1 cm Entfernung von der neutralen Faserschicht absteht.

Da, wie oben nachgewiesen wurde, die Spannung der Fasern mit ihrer Entfernung von der neutralen Faserschicht wächst, so wird, wenn die von der neutralen Schicht am weitesten abstehende Faser*) um m Centimeter von dieser entfernt ist, die Spannung q dieser Faser (dieselbe kann sowohl eine Druck- als auch eine Zugspannung sein) m mal größer als die Spannung p, oder es wird

$$q = m p$$

und $$p = \frac{q}{m} \text{ sein.}$$

Wird dieser Ausdruck für p in die letzte Formel eingeschaltet, so ist

$$Q . l = \Sigma \frac{b . q . x^2}{m}$$

oder auch

$$Q . l = q . \Sigma \frac{b x^2}{m}.$$

Der Ausdruck $\frac{b . x^2}{m}$ wird in der Mechanik als das **Widerstandsmoment** des Querschnittes bezeichnet.

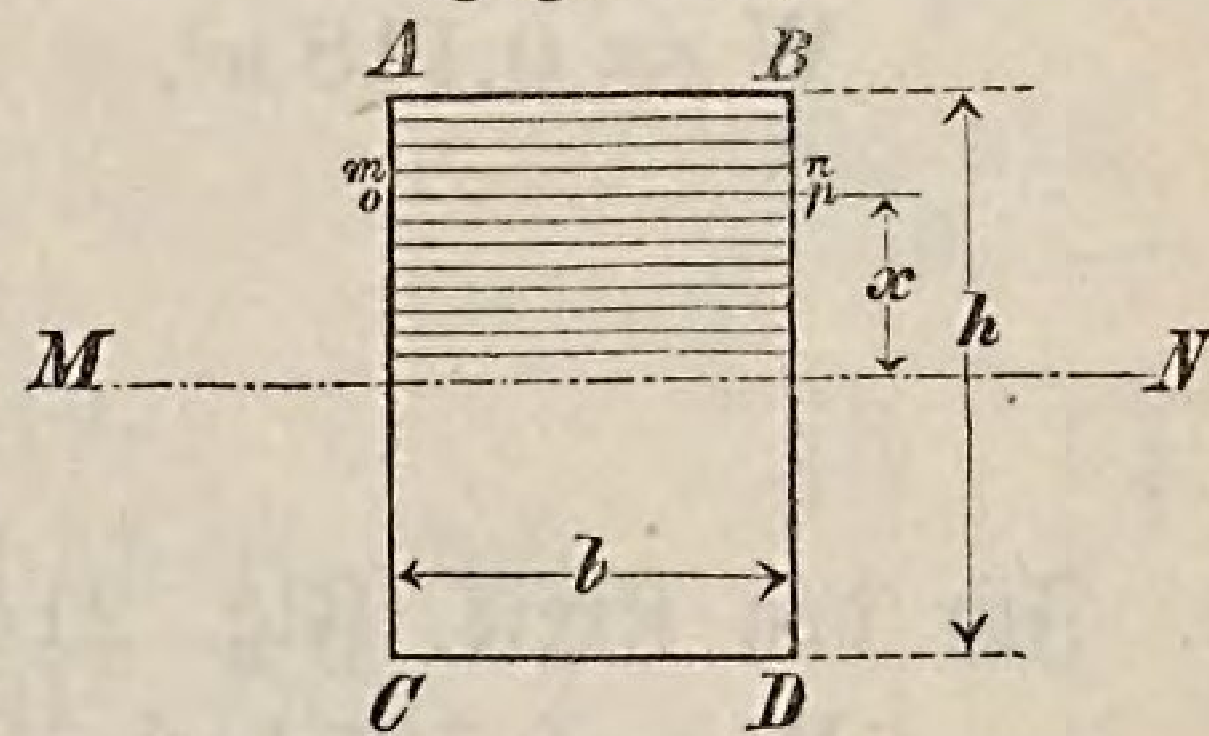
Die stärkste Faserspannung darf ein Maß, welches sich aus der nach unserer letzten Tabelle zu beurtheilenden Festigkeit des zur Anwendung kommenden Materials, und ferner nach der verlangten Sicherheit gegen Bruch richtet, nicht überschreiten, bezeichnet demnach p die Faserspannung, bei welcher der Bruch erfolgt, und s die verlangte Sicherheit gegen Bruch, so darf höchstens Q . l gleich, nie aber größer als

$$\frac{1}{s} p \, \Sigma \frac{b x^2}{m} \text{ werden.}$$

*) **Anmerkung.** Für Querschnittsformen, bei welchen der Schwerpunkt in der Mitte der Höhe h liegt, fällt $m = \frac{h}{2}$ aus.

Um mit Hülfe dieser Beziehung die erforderlichen Dimensionen eines Balkens bei gegebener Belastung P, oder um die zulässige Belastung P bei gegebenen Dimensionen des Balkens zu bestimmen, wird es nothwendig, den Ausdruck $\Sigma \frac{b \cdot x^2}{m}$ für die gebräuchlicheren Querschnittsformeln zu ermitteln. Dieses kann z. B. für eine Querschnittsform nach dem nebenstehenden Rechtecke ABCD, Fig. 210, bei welchem die neutrale Achse MN durch die Mitten der Linien AC und BD geht, dadurch geschehen, daß man die obere Hälfte der Figur in lauter schmale Streifen zerlegt und den Inhalt mo . mn eines jeden solchen Streifens mit x^2, also mit dem Quadrate seines Abstandes x von der neutralen Achse MN multiplicirt. Die doppelte Summe aller dieser Producte entspricht unserem Ausdrucke $\Sigma b x^2$.

Fig. 210.

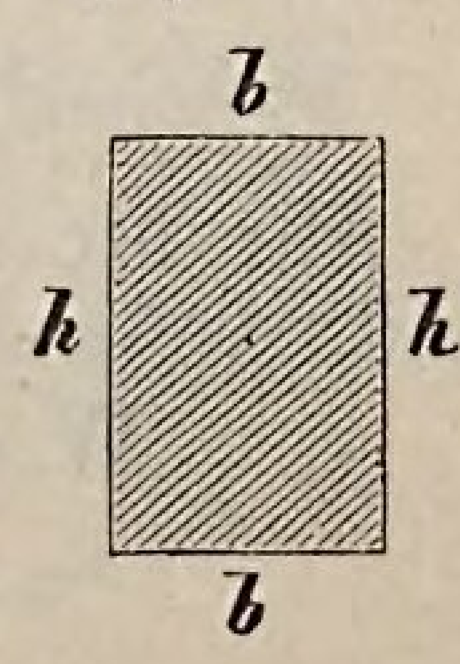


Wird diese so gewonnene Summe durch m, also in unserem Falle durch $\frac{h}{2}$ getheilt, so erhält man offenbar den Werth von $\Sigma \frac{b x^2}{m}$ für die betreffende Querschnittsform.

Die Ermittelung des Zahlenwerthes von $\Sigma \frac{b x^2}{m}$ für die gebräuchlichen Querschnittsformen hier vorzunehmen, würde viel zu zeitraubend sein, es muß demnach genügen, die betreffenden Werthe hier einfach anzugeben.

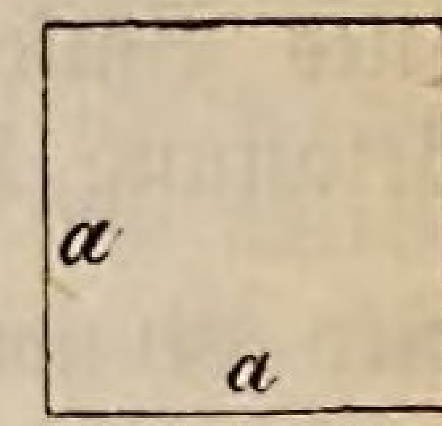
Widerstandsmomente einiger Querschnittsformen. Wird das Widerstandsmoment $\Sigma \frac{b x^2}{m}$ der nachstehenden Querschnittsformen allgemein der Einfachheit wegen mit W bezeichnet, so ist:

Fig. 211.



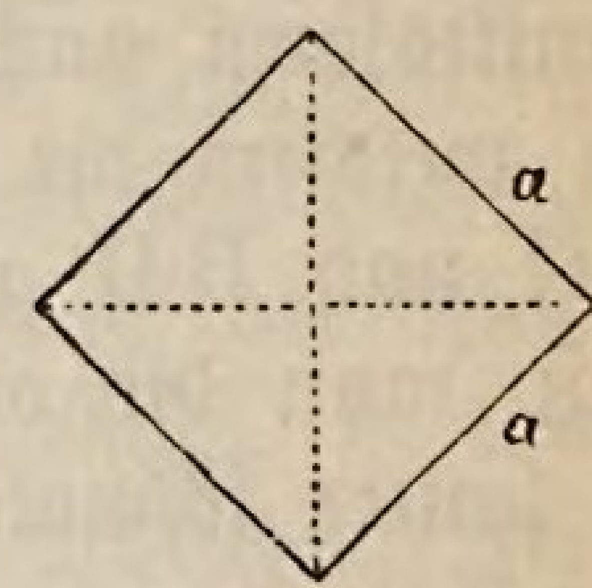
1. Für das Rechteck, Fig. 211,
$W = \frac{1}{6} b . h^2$.

Fig. 212.



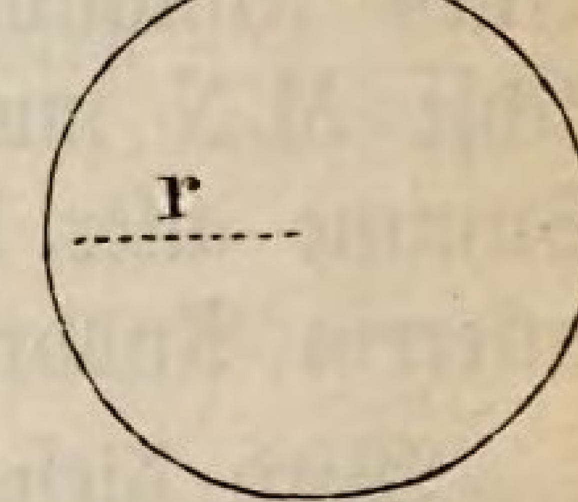
2. Für das Quadrat, Fig. 212,
$$W = \frac{1}{6} \cdot a^3.$$

Fig. 213.



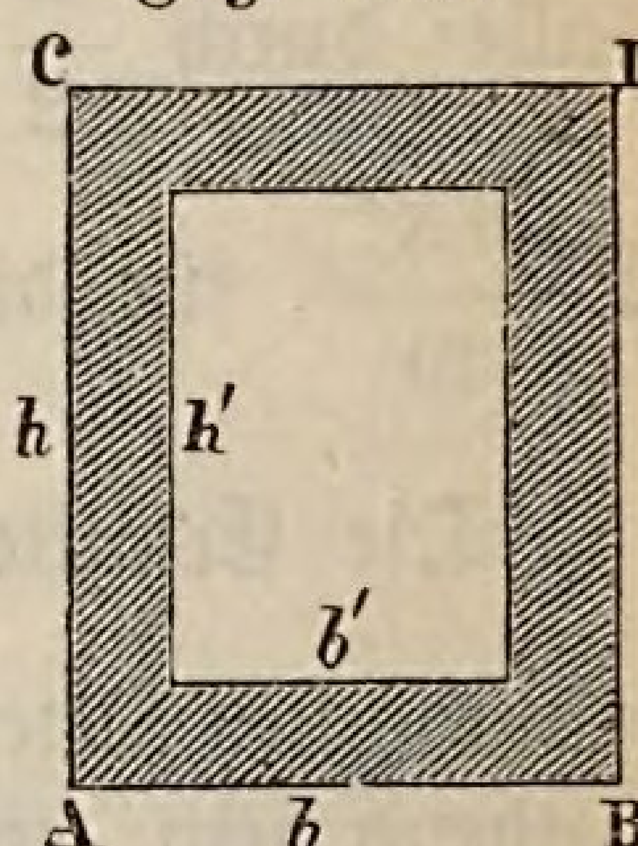
3. Für das Quadrat, Fig. 213, (wenn der Balken auf einer Kante ruht)
$$W = 0{,}118\ a^3.$$

Fig. 214.



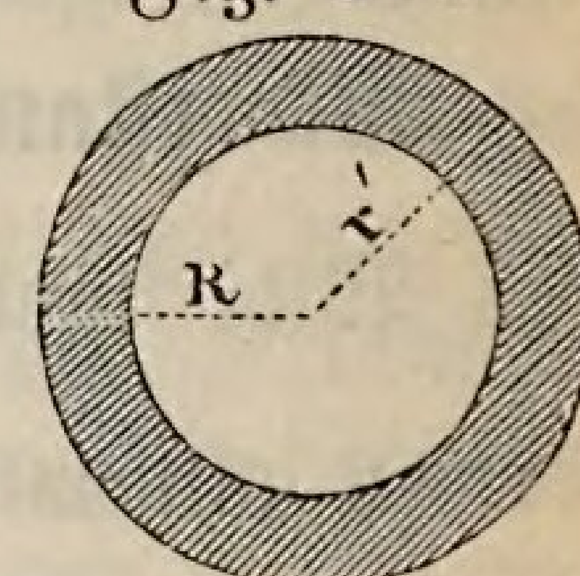
4. Für den Kreis, Fig. 214,
$$W = 0{,}7854\ r^3.$$

Fig. 215.



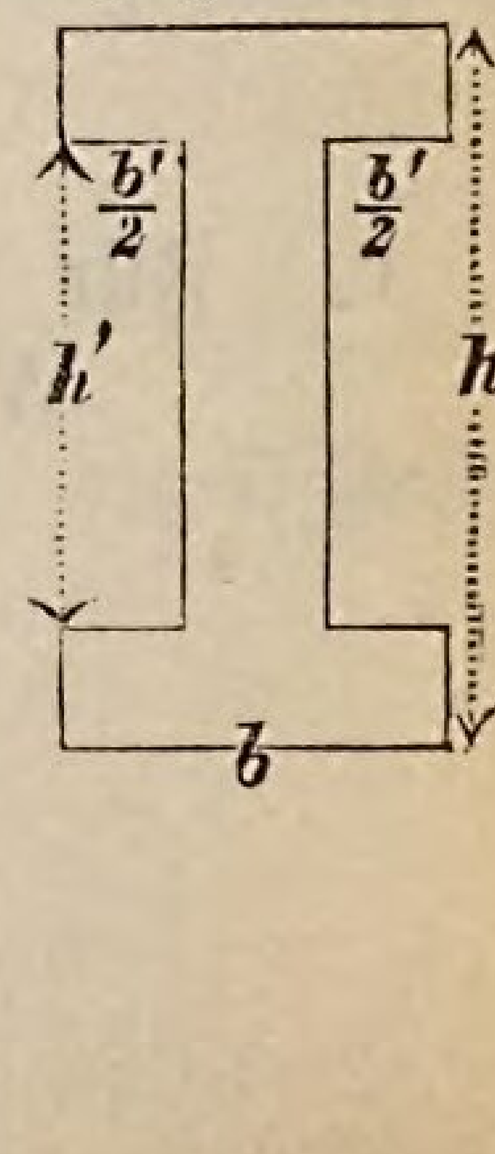
5. Für das hohle Paralleleppiped, Fig. 215,
$$W = \frac{1}{6}\ \frac{b h^3 - b' h'^3}{h}.$$

Fig. 216.



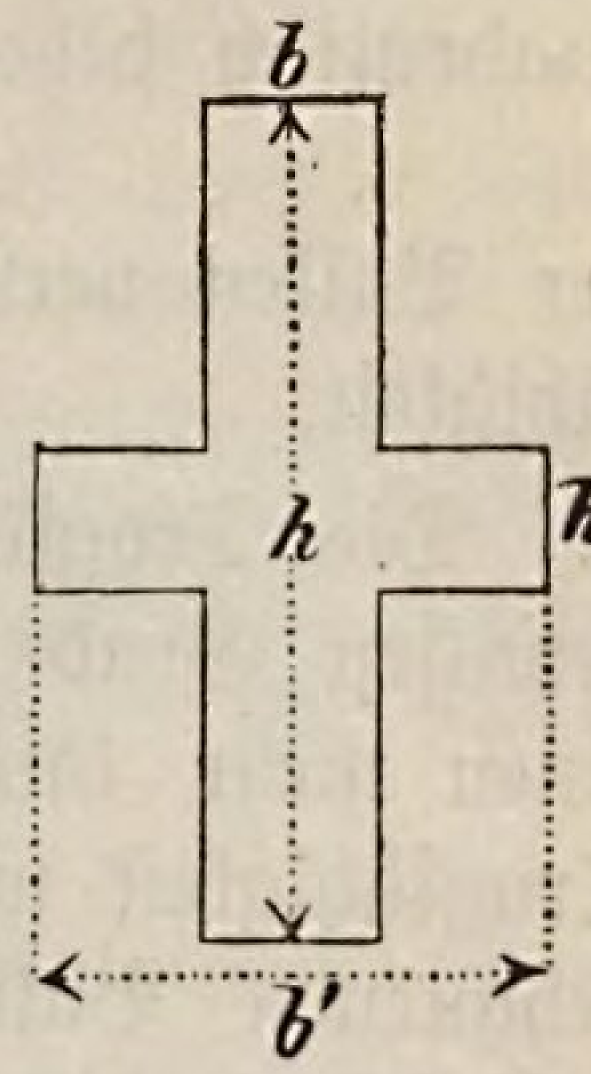
6. Für die Ringform, Fig. 216,
$$W = 0{,}7854 \cdot \frac{R^4 - r^4}{R}.$$

Fig. 217.



7. Für die Querschnittsform, Fig. 217,
$$W = \frac{1}{6}\ \frac{b \cdot h^3 - b' h'^3}{h}.$$

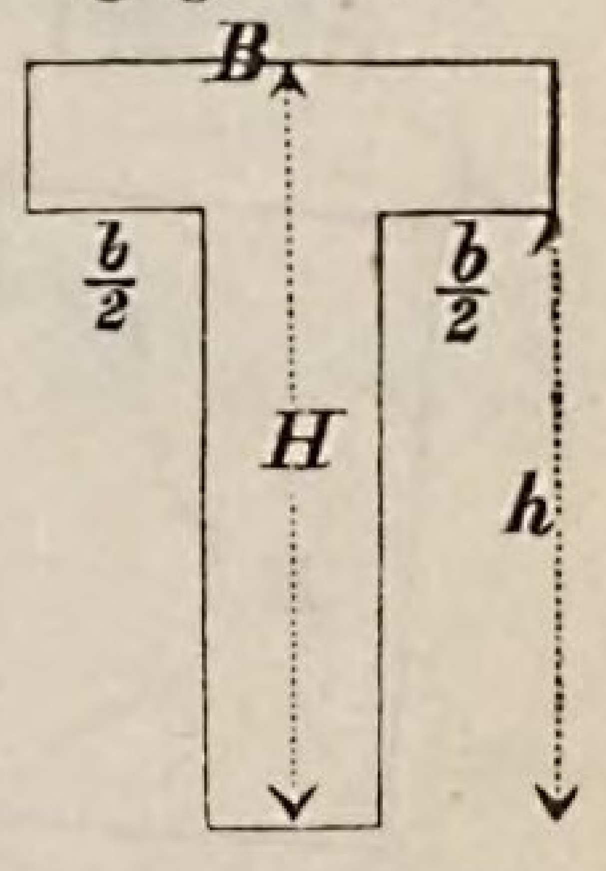
Fig. 218.



8. Für die Querschnittsform, Fig. 218,

$$W = \frac{1}{6} \frac{b' h'^3 + b(h^3 - h'^3)}{h}.$$

Fig. 219.



9. Für die Querschnittsform, Fig. 219,

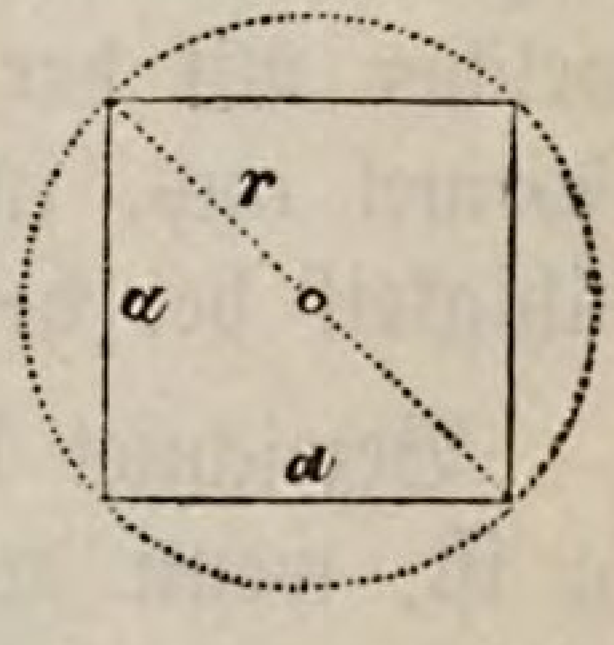
$$W = \frac{1}{6} \left\{ BH^2 - bh^2 - \frac{4BHbh(H-h)^2}{BH^2 - bh^2} \right\}$$

Ist $n = \frac{B}{H}$ und $r = \frac{H+h}{2}$, so wird für die Querschnittsform der letzten Figur annähernd

$$W = \frac{r^2}{6} \cdot \frac{4n+1}{2n+1} (B - b).$$

Von vorstehenden Widerstandsmomenten sind für hölzerne Balken namentlich die des Kreises und des Rechteckes von Wichtigkeit.

Fig. 220.



Bezeichnet die punktirt gezeichnete Linie der Fig. 220 den Querschnitt eines runden Balkens und das ausgezogene Quadrat den Querschnitt des vierkantig behauenen Balkens mit der Seitenlänge

$$a = r\sqrt{2},$$

so ist das Widerstandsmoment W des runden Balkens gleich

$$0{,}7854 \cdot r^3,$$

und das Widerstandsmoment des quadratischen Balkens gleich

$$\frac{1}{6} \cdot a^3$$

oder, da $a = r\sqrt{2}$ ist, das Widerstandsmoment des quadratischen Balkens gleich

$$\frac{1}{6} r^3 \sqrt{8} = \frac{1}{6} \cdot r^3 \cdot 2{,}8284 = 0{,}4714 \cdot r^3$$

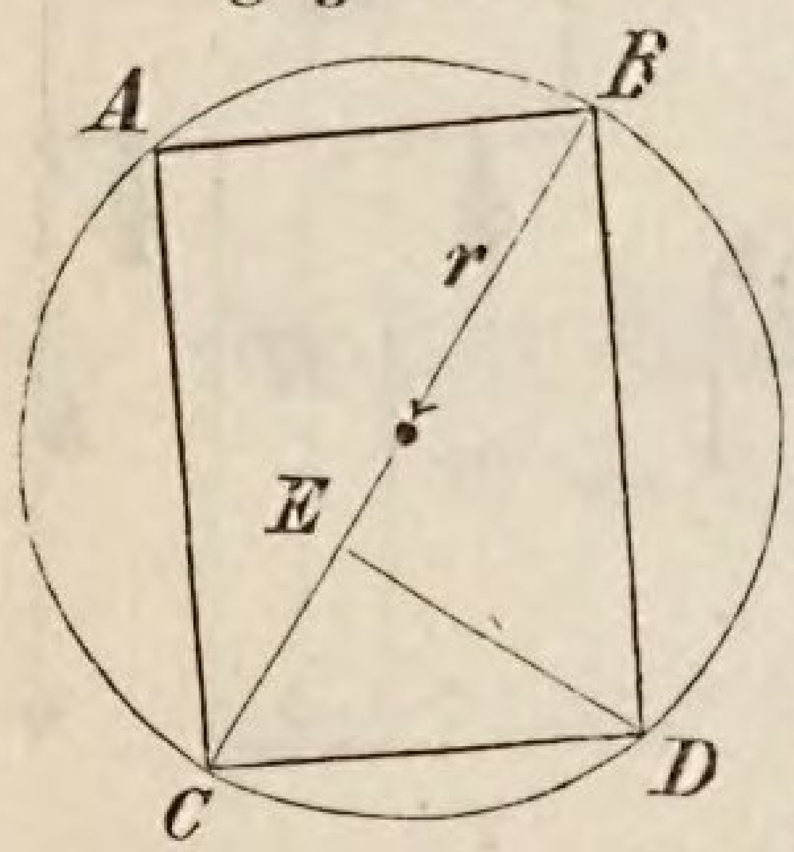
es verhält sich also das Widerstandsmoment des runden zu dem des quadratisch behauenen Balkens, wie

$$0{,}7854 : 0{,}4714 \text{ oder wie } 10 : 6,$$

der Balken verliert also durch das Behauen 40 % seiner Tragfähigkeit.

Die Tragfähigkeit des behauenen Balkens wird bis zu einem gewissen Grade erhalten, wenn der Balken statt eines quadratischen einen mehr länglichen Querschnitt bekommt. Das Maximum der Tragfähigkeit wird für den mit seiner schmäleren Seite aufliegenden behauenen Balken erreicht, wenn derselbe den in Fig. 221 mit ABCD bezeichneten Querschnitt bekommt. Um diesen Qaerschnitt

Fig. 221.



zu finden, ist der Theil CE des Durchmessers CB des Kreises gleich $\frac{1}{3}$ CB gemacht und DE lothrecht zu CB gezogen. Der gesuchte Querschnitt ergiebt sich, indem man D mit B und mit C verbindet, die Linien CA parallel zu DB und von dem Durchschnittspunkte A mit dem Kreise nach B zieht. Das Widerstandsmoment des Kreises verhält sich zu dem Widerstandsmomente des Rechteckes ABCD, wie 7 : 5, oder wie 100 : 71, der Balken ist durch das Behauen um nur 29 % seiner Tragfähigkeit geschwächt, während diese Schwächung für den quadratisch behauenen Balken 40 % beträgt.

Die Widerstandsformel für den rechteckigen Querschnitt lautete

$$W = \tfrac{1}{6}\, b \,.\, h^2.$$

In diesem Ausdrucke bezeichnet b die Seite des Rechtecks, auf welcher der Balken ruht. Die bekannte Erscheinung, daß ein hochkantig gestützter Balken eine großere Tragfähigkeit besitzt als ein solcher, welcher mit der längeren Seite aufliegt, drückt sich auch durch unsere Formel aus, indem diese sogar deutlich das Verhältniß der Tragfähigkeit bei der verschiedenen Lagerung erkennen läßt.

Bezeichnet b die schmälere und h die breitere Seite des Balkens, so ist, wenn der Balken mit der Seite b aufliegt,

$$W = \tfrac{1}{6}\, b \,.\, h^2,$$

und, wenn der Balken mit der Seit h aufliegt,

$$W' = \tfrac{1}{6}\, h \,.\, b^2$$

es verhält sich demnach

$$\frac{W}{W'} = \frac{\frac{1}{6}\, b \,.\, h^2}{\frac{1}{6}\, h \,.\, b^2} = \frac{h}{b}$$

die Tragfähigkeit eines Balkens mit rechteckigem Querschnitte wird demnach gegen die desselben Balkens in demselben Verhältnisse erhöht, wenn man ihn auf seine schmälere statt auf seine breitere Seite legt, in welchem die breite Seite größer ist als die schmale.

Aufgabe. Als Beispiel der Anwendung der Widerstandsformeln möge ermittelt werden, mit welchem Gewichte P ein mit seinem einen Ende eingemauerter Balken (vergl. Fig. 209) von rechteckigem Querschnitte belastet werden darf, wenn er bei 200 cm Länge (l), 5 cm Breite (b) und 10 cm Höhe (h) diese Last mit achtfacher Sicherheit tragen soll.

Auflösung. Es ist

$$Q.l = \frac{p}{s} \Sigma \frac{b x^2}{m} = \frac{p}{s} \cdot W$$

oder, da W für einen rechteckigen Querschnitt zu $^1/_6 b.h^2$ angegeben ist,

$$Q\ l = \frac{p}{s} \cdot {}^1/_6 b.h^2.$$

Wird die Festigkeit p des Holzes gegen Bruch zu 800 kg pro qcm Querschnitt angenommen und werden für l, s, b und h die betreffenden Zahlen in die Formel eingesetzt, so ergiebt sich

$$Q.200 = \frac{800}{8} \cdot {}^1/_6.5.10^2$$

oder

$$Q.200 = \frac{50000}{6}$$

und

$$Q = \frac{50000}{6.200} = 41{,}7 \text{ kg}.$$

Da in unserem Beispiele h = 2 b ist, so vermindert sich die Tragfähigkeit des gleichen Balkens auf die Hälfte, also auf 20,85 kg, wenn der Balken mit seiner breiteren Seite nach unten eingemauert wird.

Aufgabe 2. Es soll untersucht werden, welchen Durchmesser ein runder Balken von 500 cm Länge bekommen muß, der mit dem einen Ende eingemauert und an dem anderen Ende mit 1000 kg belastet ist, wenn 10fache Sicherheit verlangt wird.

Auflösung. Es ist wieder

$$Q.l = \frac{p}{s} \cdot W$$

und, da für den runden Querschnitt

$$W = 0{,}7854.r^3$$

ist, wenn r den Halbmesser der Querschnittsfläche bezeichnet,

$$Q.l = \frac{p}{s} \cdot 0{,}7854.r^3.$$

Nach der Aufgabe ist Q = 1000 kg, l = 500 cm und s = 10, man erhält demnach durch Einsetzung dieser Werthe in die letzte Formel, und wenn noch p zu 600 angenommen wird,

$$1000.500 = \frac{600}{10} \cdot 0{,}7854\ r^3$$

oder

$$r^3 = \frac{1000 . 500 . 10}{600 . 0,7854} = 10616$$

und

$$r = \sqrt[3]{10616} = 22 \text{ cm.}$$

Die Formel

$$Q . l = \frac{p}{s} . W$$

wurde unter der Bedingung abgeleitet, daß die Last Q an dem freien Ende eines eingemauerten Balkens aufgehängt sei, sie gilt daher nur für diesen Fall und ändert sich, sobald die Last gleichmäßig über die ganze Länge des Balkens vertheilt, und ferner, sobald der Balken an beiden Enden unterstützt ist. Es ist außerdem nicht einerlei, ob der Balken einfach auf seinen Stützen ruht, oder ob er eingemauert oder in anderer Weise so befestigt ist, daß die Enden sich nicht aufbiegen können. Trotzdem der Balken durch die letzte Art der Befestigung verstärkt wird, thut man in der Mehrzahl der Fälle gut, bei der Berechnung auf diese Verstärkung keine Rücksicht zu nehmen, weil die Befestigung kaum so stark gemacht werden kann, daß obiger Zweck voll erreicht wird.

Die Ableitung der betreffenden Formeln für die verschiedenen in der Praxis vorkommenden Verhältnisse würde uns hier zu weit führen, es sollen demnach nur die zulässigen Belastungen unter den am häufigsten zutreffenden Bedingungen hier einfach mitgetheilt werden.

Fig. 222.

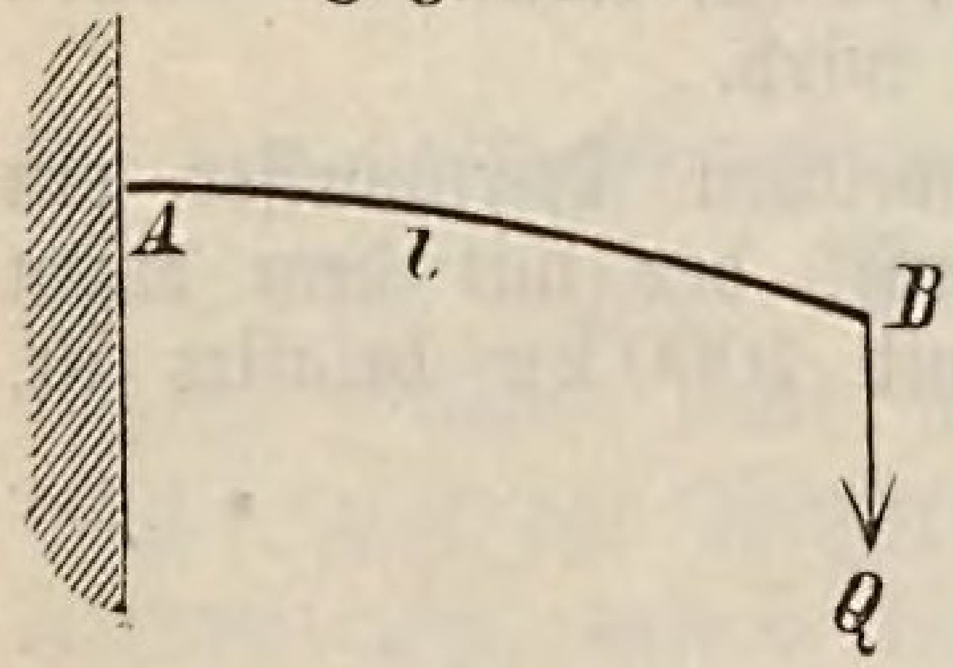


Fig. 222. Der Balken AB ist bei A eingemauert und bei B mit dem Gewichte Q belastet.

$$Q = \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l}.$$

Fig. 223.

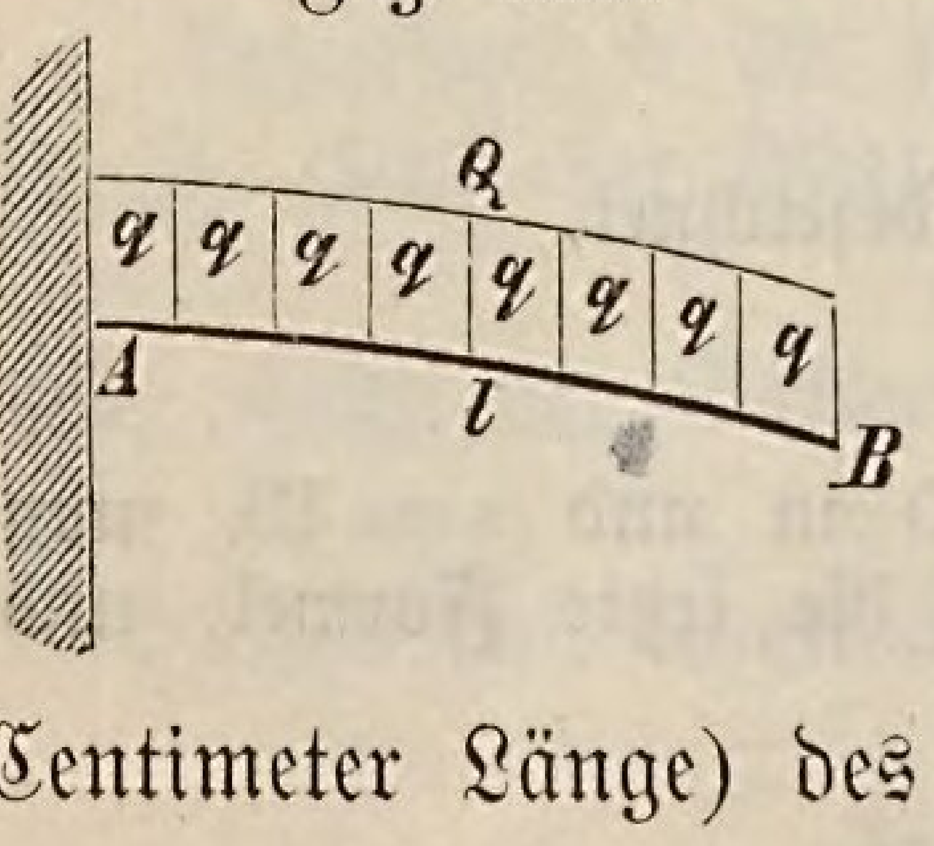


Fig. 223. Der Balken AB ist bei A eingemauert und über seine ganze Länge gleichmäßig mit dem Gewichte Q belastet.

$$Q = 2 \cdot \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l}.$$

Ist nicht die Gesammtbelastung Q, sondern die Belastung q pro Längeneinheit (pro Centimeter Länge) des Balkens angegeben, so wird

$$Q = q . l$$

und daher

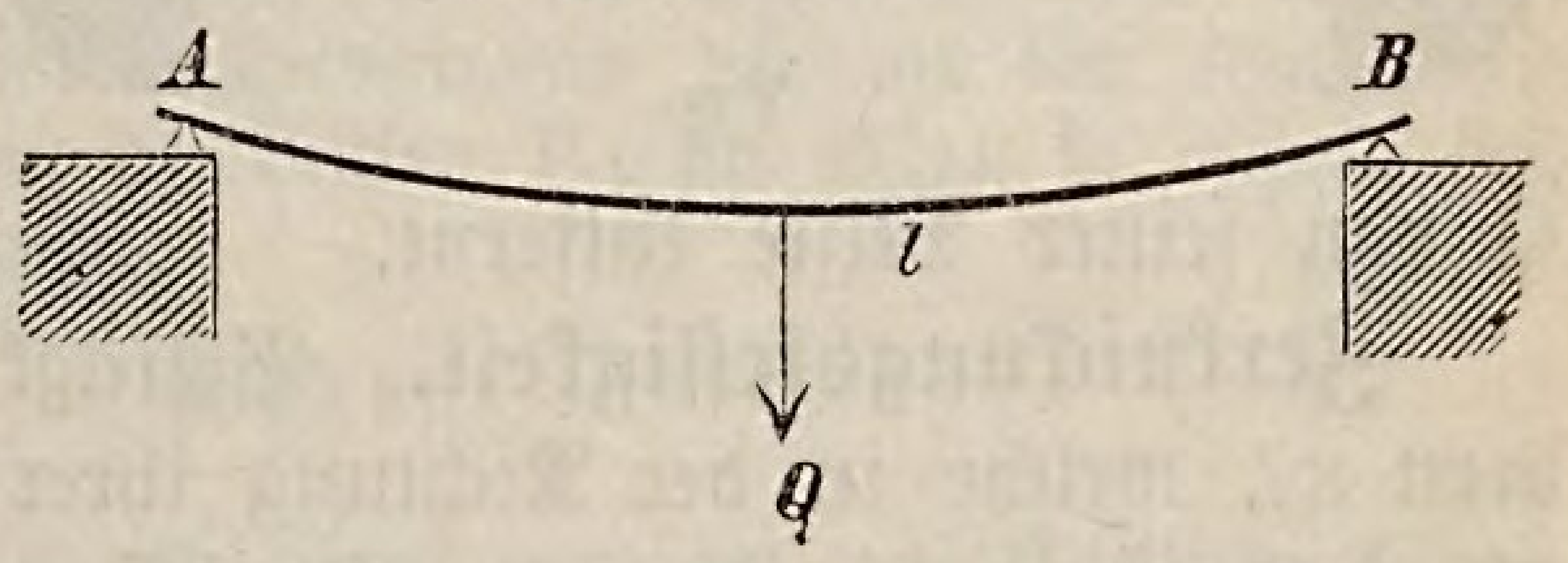
$$q \cdot l = 2 \cdot \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l}$$

oder auch

$$q = 2 \cdot \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l^2}.$$

Fig. 224. Der Balken AB ruht frei auf zwei Stützen und ist in seiner Mitte mit dem Gewichte Q belastet. Bezeichnet l die Länge des Balkens zwischen seinen beiden Stützpunkten, so ist

Fig. 224.



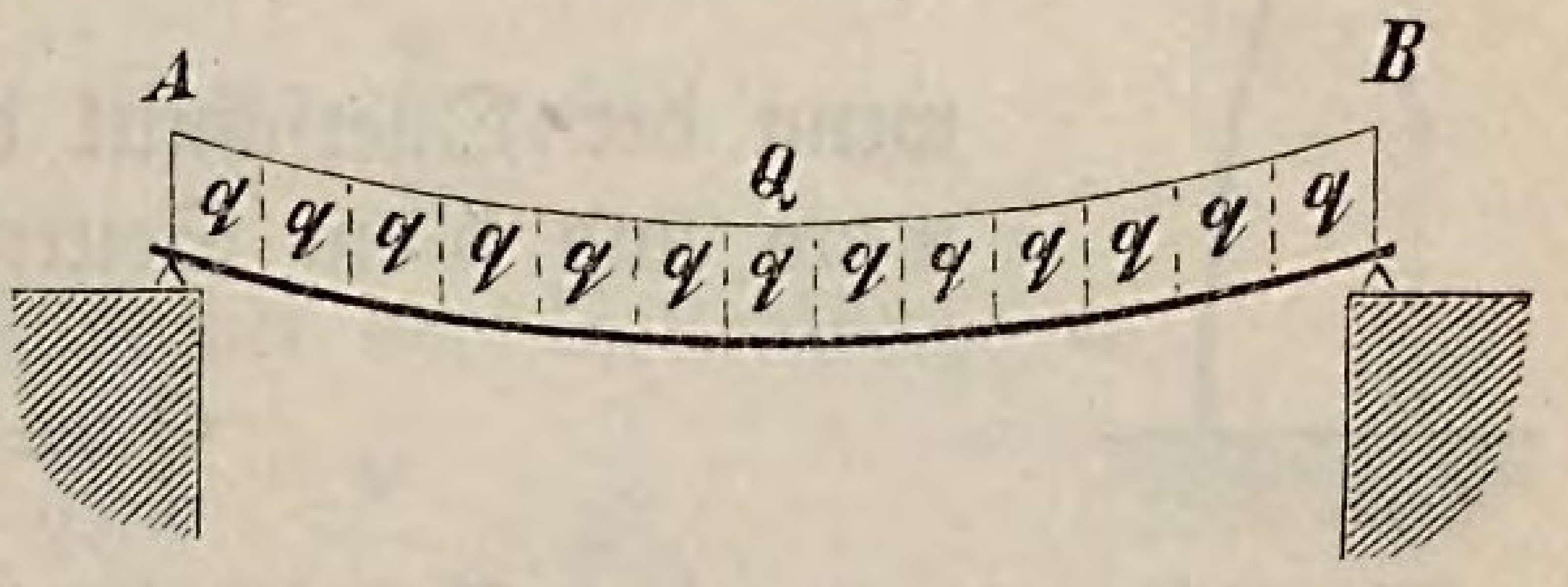
$$Q = 4 \cdot \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l}.$$

Fig. 225. Der Balken AB ruht frei auf zwei Stützen und ist über seine ganze Länge gleichmäßig mit einem Gewichte Q belastet.

$$Q = 8 \cdot \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l}.$$

Bezeichnet wieder q die Belastung pro Centimeter Länge des Balkens, so nimmt die letzte Formel folgende Gestalt an:

Fig. 225.

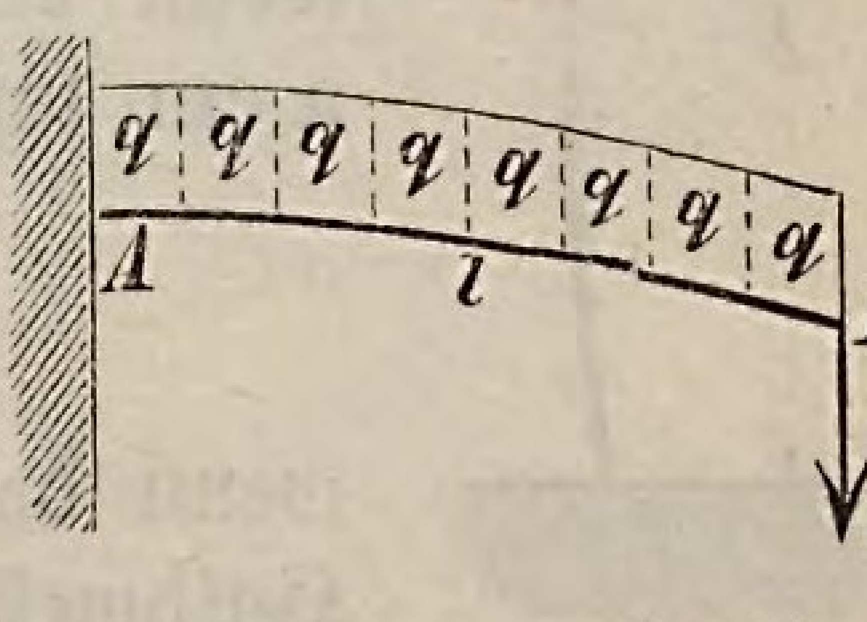


$$q = 8 \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l^2}.$$

Kommen bei einem Balken beide Belastungen in Frage, ist z. B. das Eigengewicht der Balken, Fig. 222 und 224, so groß, daß es bei der Rechnung nicht unberücksichtigt bleiben darf, so sind folgende Formeln anzuwenden.

Fig. 226. Der Balken AB ist bei A eingemauert und bei B durch ein Gewicht Q belastet. Außerdem ist eine Last gleichmäßig über den Balken vertheilt, welche pro Centimeter Länge q kg beträgt.

Fig. 226.



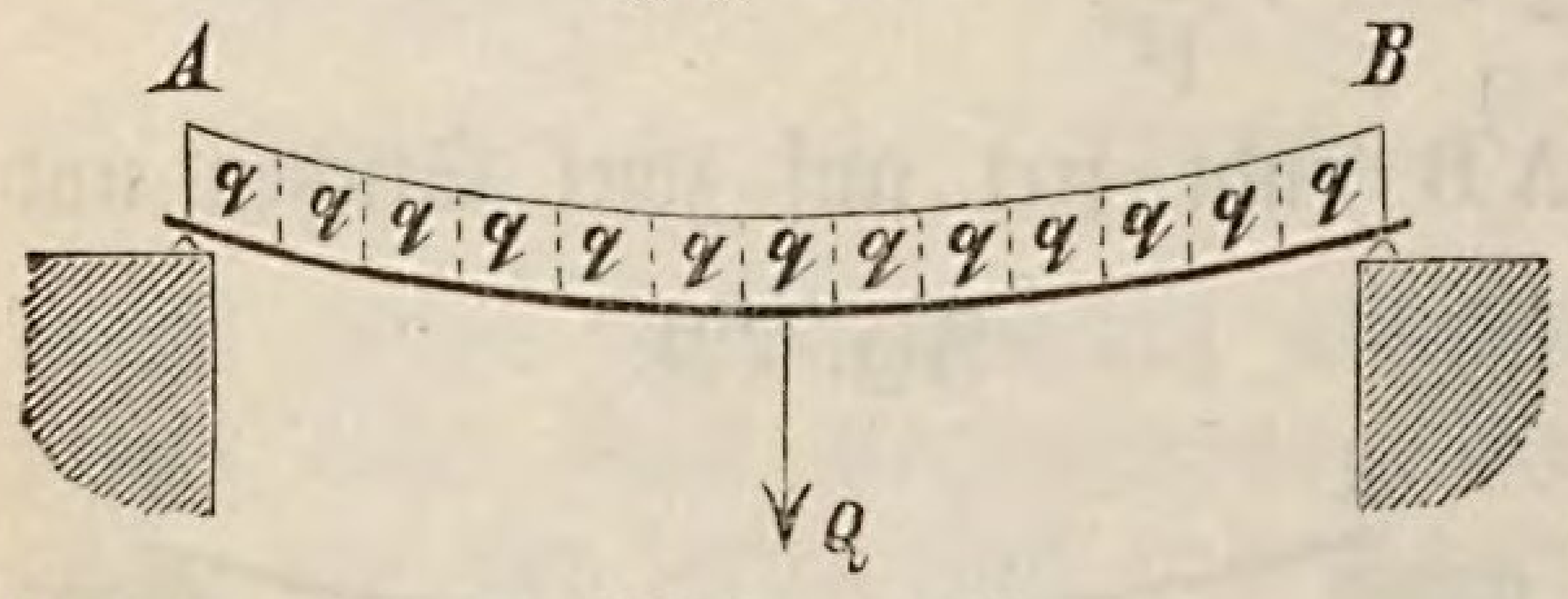
$$Q = \frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l} - {}^1/_2 \cdot \frac{p}{s} \cdot q \cdot l.$$

Fig. 226. Der Balken AB ruht auf zwei Stützen und ist in der Mitte mit einem Gewichte Q belastet. Außerdem ist eine Last

gleichmäßig über den ganzen Balken vertheilt, welche pro Centimeter Länge des Balkens q kg beträgt.

$$Q = 4\frac{p}{s} \cdot \frac{W}{l} - {}^1/_2 \cdot q \cdot l.$$

Fig. 227.



Ist die Last Q nicht in der Mitte, sondern mehr in der Nähe der einen Stütze angebracht, so vermindert sich die Inanspruchnahme des Balkens um so mehr, je weiter sich Q von seiner Mitte entfernt.

Zerknickungsfestigkeit. Beträgt die Länge von Säulen, Ständern 2c., welche in der Richtung ihrer Längsachse belastet sind, mehr als das fünffache ihrer kleinsten Querschnittsdimension, so tritt Gefahr ein, daß sie zerknicken. Die zulässige Belastung Q (bei zehnfacher Sicherheit) darf in solchen Fällen für Holzconstructionen nach folgenden Formeln bemessen werden, wenn b die kürzere Seite des Rechtecks bezeichnet.

Fig. 228.

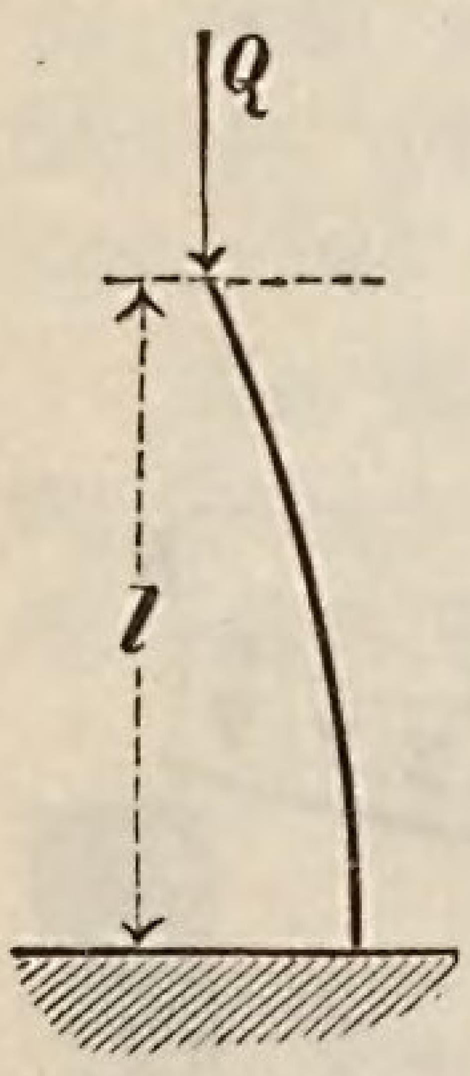


Fig. 228.

$$Q = \frac{24000}{s} \cdot \frac{a \cdot b^3}{l^2}$$

wenn der Querschnitt des Ständers ein Rechteck von a cm und b cm Seitenlänge bildet, und

$$Q = \frac{232000}{s} \frac{r^4}{l^2}$$

wenn der Querschnitt des Ständers einen Kreis vom Halbmesser r bildet.

Fig. 229.

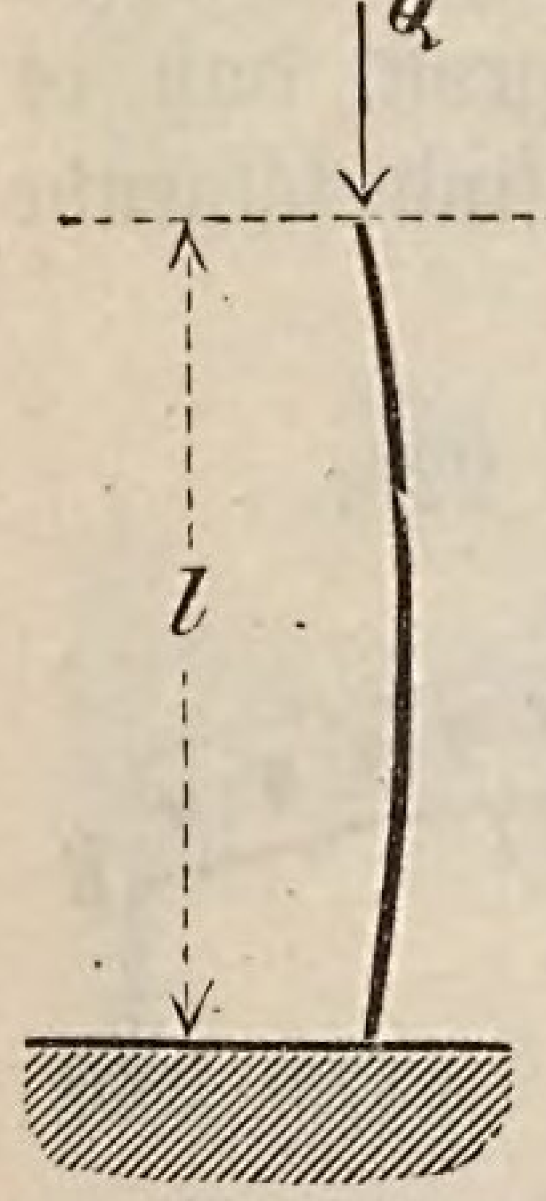


Fig. 229.

$$Q = \frac{96000}{s} \cdot \frac{a\,b^3}{l^2}$$

wenn der Querschnitt des Ständers ein Rechteck von a cm und b cm Seitenlänge bildet, und

$$Q = \frac{928000}{s} \cdot \frac{r^4}{l^2}$$

wenn der Querschnitt des Ständers einen Kreis vom Halbmesser r bildet.

Aufgabe. Es soll für den in Fig. 189 dargestellten Krahn die zulässige Belastung des Ausladers ermittelt werden, wenn derselbe einen kreis-

förmigen Querschnitt von 10 cm Radius, und 3,75 m Länge hat und wenn zehnfache Sicherheit gegen Bruch verlangt wird.

Auflösung. Die Durchbiegung des Balkens erfolgt nach der Fig. 229, es ist demnach

$$Q = \frac{928000}{s} \cdot \frac{r^4}{l^2}$$

oder, da s = 10, r = 10 cm und l = 375 cm sein soll,

$$Q = \frac{928000}{10} \cdot \frac{10000}{375 . 375} = 6600 \text{ kg}.$$

Da bei normaler Benutzung des Krahnes der Druck in dem Auslader nach der Fig. 190 2,5 kg für jedes Kilogramm der an der Krahnkette hängenden Last beträgt (Verhältniß der Linien Bc zu BD), so ergiebt sich die zulässige Belastung des Krahnes zu

$$\frac{6600}{2^1/_2} = 2640 \text{ kg}.$$

Torsionsfestigkeit. Körper (Wellen), welche auf Torsion (Drehung) in Anspruch genommen werden, haben meist einen runden oder einen quadratischen Querschnitt. Bezeichnet Q die Kraft, welche ein Verwinden der Welle bewirkt, und R die Länge des Hebelarmes in Centimetern, an welchem die Kraft angreift, so ist, wenn p die absolute Festigkeit des Materials und s den verlangten Grad der Sicherheit bezeichnet, für Wellen mit kreisförmigem Querschnitte vom Halbmesser r

$$P . R = 1,57 \cdot \frac{p}{s} r^3$$

und für quadratische Querschnitte mit der Seitenlänge a

$$P . R = 0,236 \cdot \frac{p}{s} \cdot a^3.$$

Beispiel. An einer Kurbel von 45 cm Halbmesser arbeiten zwei Mann mit zusammen 70 kg Druck; es ist zu ermitteln, welchen Durchmesser d die runde, schmiedeiserne Kurbelwelle bekommen muß, wenn 10 fache Sicherheit gegen ein Abwinden derselben verlangt wird.

Auflösung. Nach der Aufgabe ist P = 70, R = 45 und s = 10. Wird die Festigkeit des Schmiedeisens zu 3500 kg angenommen, so ist

$$70 . 45 = 1,57 \frac{3500}{10} \cdot r^3$$

und

$$r^3 = \frac{70 . 45 . 10}{1,57 . 3500} = 5,143$$

und

$$r = \sqrt{5,143} = 1,725$$

also

$$d = 2 r = 3,5 \text{ cm}.$$

Seile und Ketten. Seile und Ketten beansprucht man nur mit $^1/_5$ bis $^1/_4$ ihrer Festigkeit. Ist Q die zulässige Belastung in kg und d die erforderliche Stärke in Centimetern, so ist für Hanfseile, Drahtseile, Ringketten (mit ovalen Kettengliedern)

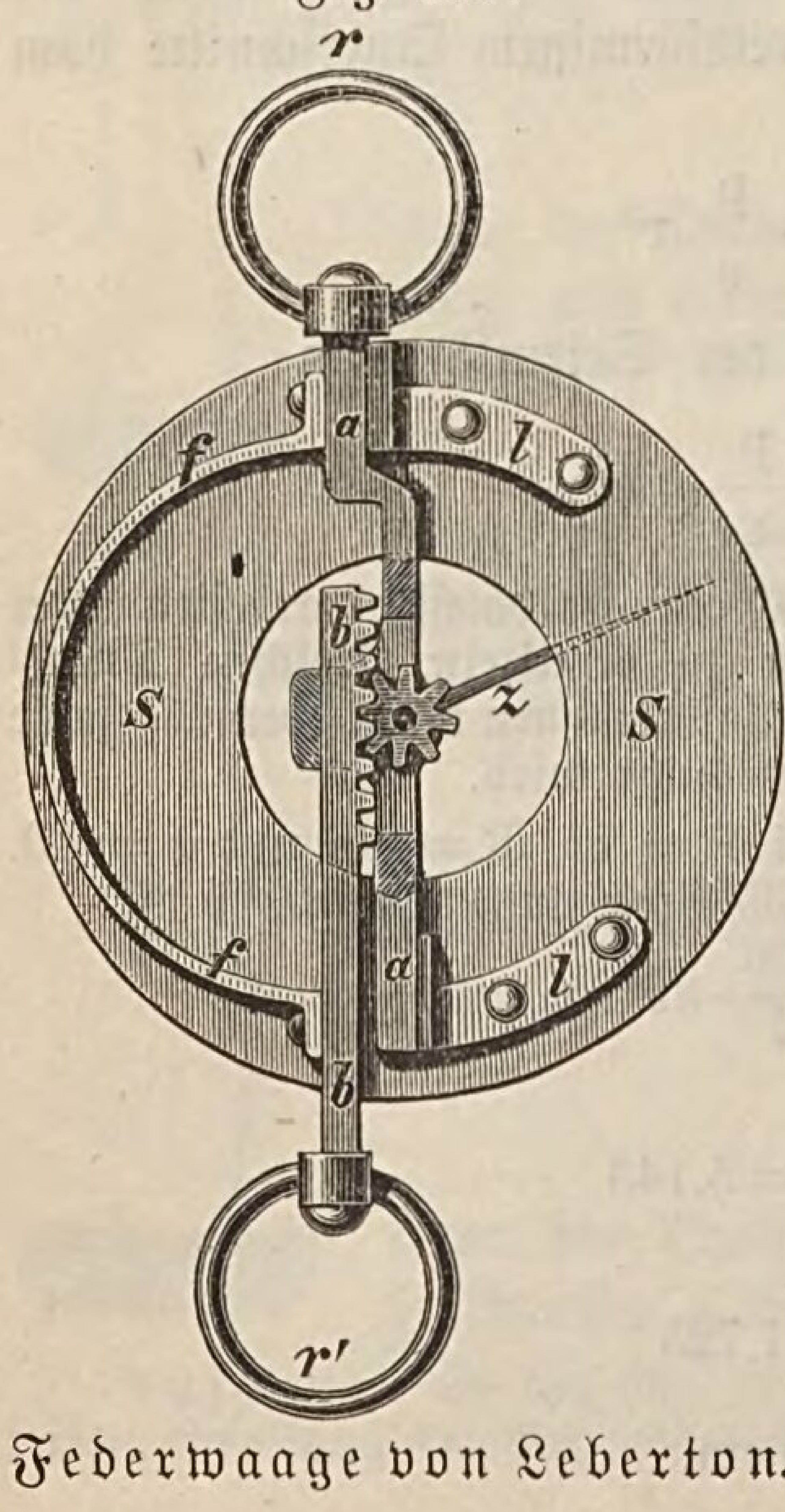
$$d = 0{,}12\sqrt{Q} \qquad 0{,}05\sqrt{Q} \qquad 0{,}03\sqrt{Q}$$
$$Q = 70 \,.\, d^2 \qquad 400 \,.\, d^2 \qquad 1100\, d^2.$$

Hängen Menschenleben von der Sicherheit der Seile und Ketten ab, so ist Q nur halb so hoch wie nach den angeführten Formeln zulässig. Sind die Kettenglieder durch einen Quersteg verstärkt (Schiffsketten), so darf Q um 33 % erhöht werden.

Federwaagen. Die Elasticität des Stahls, d. i. die Eigenschaft, sich unter einer angehängten Last auszudehnen und nach der Beseitigung derselben die ursprüngliche Form wieder anzunehmen, macht ihn zur Herstellung von Waagen geeignet, bei denen die Belastung an dem Maße der Formveränderung einer Feder erkannt wird.

Fig. 230 zeigt eine von Leberton in Paris construirte Federwaage in der hinteren Ansicht. Die zum Messen der Kraft dienende Feder f ist halbkreisförmig gebogen und oben mit dem Bügel a und unten mit der Zahnstange b fest verbunden. Der Bügel a, welcher mit Hülfe der Eisen l an der Scheibe S (auf der anderen Seite mit einer Skala zum Ablesen der Belastung versehen) befestigt ist, erweitert sich in der Mitte zur Aufnahme eines Zahnrades, das sich mit der Zahnstange b im Eingriff befindet. Außerdem umfaßt er hier die Zahnstange und giebt ihr nach rückwärts den nöthigen Halt. Die Ringe r und r′ an dem Bügel a und der Zahnstange b dienen zum Aufhängen der Waage und zur Befestigung der Last. Wird durch letztere die Zahnstange abwärts gezogen, wobei sich die Feder streckt, so dreht sich mit dem Zahn-

Fig. 230.

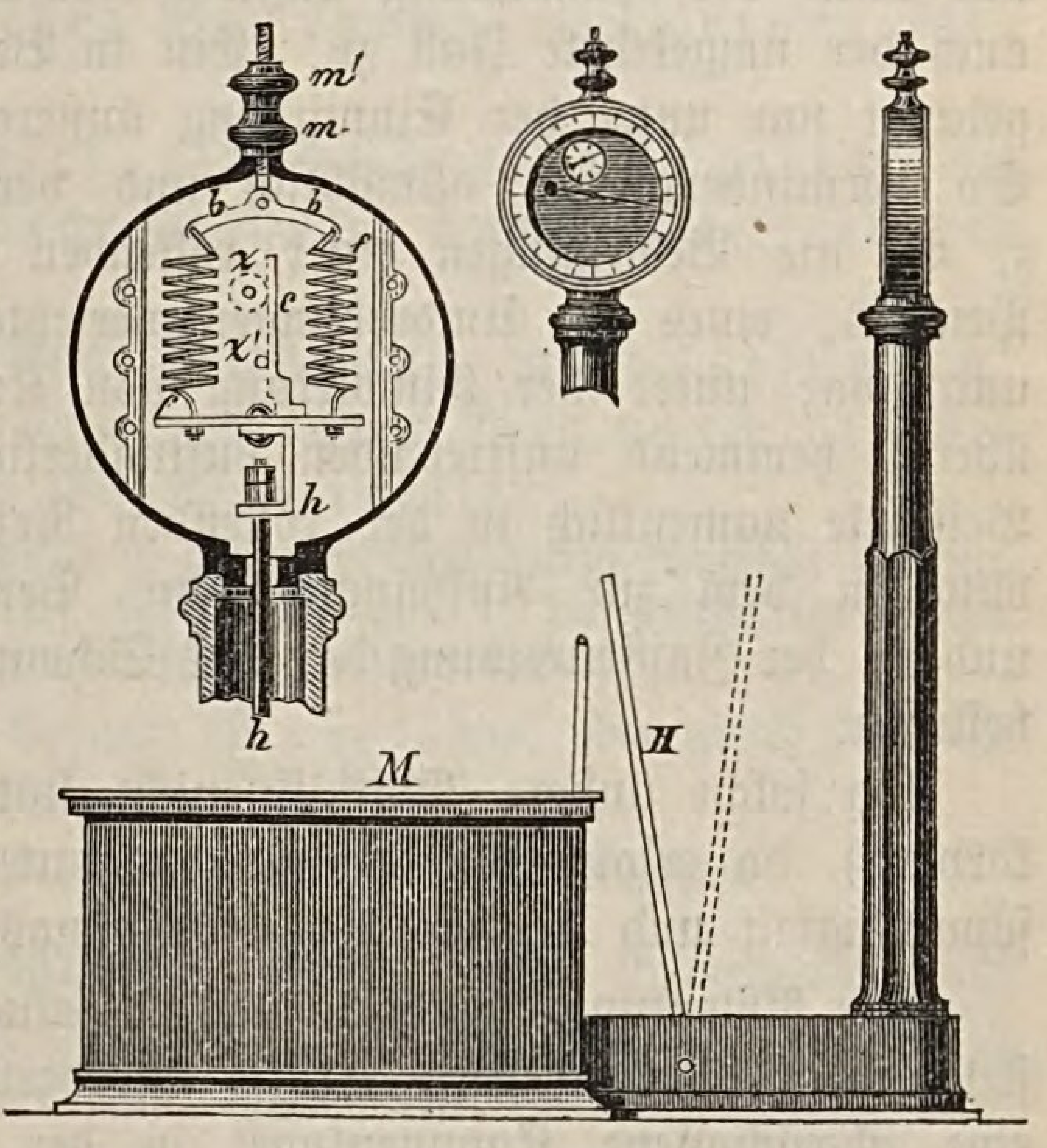


Federwaage von Leberton.

rade der Zeiger z und zeigt die Belastung an der auf die Scheibe S eingravirten Skala, deren Eintheilung am sichersten durch Anhängung von bekannten Gewichten erfolgt, an.

Von Gebrüder Dopp in Berlin ist eine Federwaage zum Abwiegen von Reisegepäck construirt (Fig. 231), welche mit der in den Fig. 157 bis 160 dargestellten Zeigerwaage Aehnlichkeit hat, sich aber von jener wesentlich dadurch unterscheidet, daß an Stelle des Gewichtes, welches dort bei dem Niederdrücken der Plattform der Waage gehoben wurde, zwei Spiralfedern treten, die auseinander gezogen werden.

Fig. 231.



Federwaage für Reisegepäck.

Durch ein Hebelsystem wird bei dem Niederdrücken der Plattform M der Waage durch das aufgelegte Gepäckstück ein Theil der Last auf die Zugstange h übertragen, welche bei dem Niedergehen die beiden an dem um seine Mitte schwingenden Bügel b befestigten Federn f anspannt. Bei dieser Bewegung dreht die mit ihnen im Eingriff befindliche Zahnstange c die beiden verschieden großen Zahnräder z und z′ und in Folge dessen mit ungleichen Geschwindigkeiten zwei mit jenen auf den gleichen Wellen sitzende Zeiger und macht so das Maß der Bewegung genau sichtbar.

Um die Spannung der beiden Federn f reguliren zu können, ist der Bügel b an einer Schraube aufgehängt, welche durch die beiden Muttern m und m′ angezogen werden kann.

Der Hebel H dient dazu, Stöße von den Federn f abzuhalten, wenn das Gepäck auf die Plattform M gelegt oder von ihr entfernt wird. Je nachdem nämlich dieser Hebel die gezeichnete oder die punktirt angedeutete Stellung einnimmt, schieben sich vier Stifte

unter die Plattform M und heben sie von dem Mechanismus ab, oder sie gehen zurück und lassen die Verbindung mit der Zugstange h und den Federn f frei.

Dynamik fester Körper.

Ein Körper, welcher sich im Zustande der Ruhe befindet, geräth nur unter der Einwirkung äußerer Kräfte in Bewegung. Es trifft auch der umgekehrte Fall zu. Ein in Bewegung befindlicher Körper gelangt nur unter der Einwirkung äußerer Kräfte wieder zur Ruhe. So vermindern sich allmählich und verschwinden endlich gänzlich z. B. die Bewegungen einer rollenden Kugel, eines schwingenden Pendels, eines in Umdrehungen versetzten Schwungrades u. s. w. und zwar unter der Einwirkung von Kräften, welche, außer dem überall hemmend auftretenden Luftwiderstande, für die angeführten Beispiele namentlich in der rollenden Reibung der Kugel, der Reibung in dem zur Aufhängung des Pendels dienenden Scharniere und in der Zapfenreibung der das Schwungrad aufnehmenden Welle bestehen.

Wo solche äußere Einflüsse nicht stattfinden (bei den Himmelskörpern), da erfolgt die Bewegung ununterbrochen mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Bewegungsrichtung fort.

Zur Ablenkung des Körpers aus seiner Bewegungsrichtung wird stets das Auftreten neuer Kräfte erforderlich, wie sie sich z. B. für eine abgeschossene Kanonenkugel in der Anziehungskraft der Erde geltend macht, welche Anziehungskraft die sonst geradlinig fortschreitende Bewegung der Kugel, sobald diese das Geschützrohr verlassen, in eine krummlinige umändert. Das Gesetz, nach welchem sich ohne die Einwirkung äußerer Kräfte ein in Ruhe befindlicher Körper nicht in Bewegung setzt und nach welchem ferner ein in Bewegung befindlicher Körper ohne Einwirkung äußerer Kräfte weder seine Geschwindigkeit noch seine Bewegungsrichtung ändert, ist unter der Bezeichnung „Gesetz der Trägheit“ bekannt.

Gleichmäßige Bewegung. Die Bewegung eines Körpers kann eine solche mit gleichmäßiger oder mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit sein, sie kann ferner unter der Einwirkung mehrerer Kräfte erfolgen und kann endlich eine gradlinige oder eine mit veränderlicher Bewegungsrichtung sein.

Bezeichnet für einen sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegenden Körper:

v die Geschwindigkeit des Körpers in Metern pro Sekunde
t die Zeitdauer der Bewegung in Sekunden und
s den in der Zeit t zurückgelegten Weg in Metern, so ist

$$s = v \, . \, t; \; v = \frac{s}{t}; \; t = \frac{s}{v}$$

Mit Worten ausgedrückt lauten diese Formeln:

1. Der Weg eines Körpers ist gleich dem Producte aus der Zeit seiner Bewegung mal seiner Geschwindigkeit.
2. Die Geschwindigkeit eines Körpers ist gleich dem zurückgelegten Wege getheilt durch die Zeit der Bewegung.
3. Die Zeitdauer der Bewegung wird gefunden, indem man den zurückgelegten Weg durch die Geschwindigkeit des Körpers theilt.

Als Beispiel für die Anwendung dieser Formeln mag ermittelt werden, in welcher Zeit ein Eisenbahnzug einen Weg von 15 km zurücklegt, wenn er mit 10 m Geschwindigkeit pro Sekunde fortschreitet.

Auflösung. Nach der Aufgabe ist s = 15 km, oder gleich 15000 m und v = 10 m, es ergiebt sich also die Zeit t zu

$$t = \frac{s}{v} = \frac{15000}{10} = 1500 \text{ Sekunden} = 25 \text{ Minuten.}$$

Ungleichmäßige Bewegung. Erfolgt eine Bewegung nicht mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, so kann sie entweder allmählig abnehmen oder zunehmen und kann weiter entweder die Verzögerung oder die Beschleunigung der Bewegung eine derartige sein, daß die Geschwindigkeits-Zunahmen oder Abnahmen für gleiche Zeitabschnitte stets dieselben sind, oder daß sie sich ändern. Man hat demnach für ungleichmäßige Bewegungen zwischen

1. gleichmäßig beschleunigten Bewegungen,
2. gleichmäßig verzögerten Bewegungen,
3. ungleichmäßig beschleunigten Bewegungen und
4. ungleichmäßig verzögerten Bewegungen

zu unterscheiden.

Als Beispiele für diese vier Bewegungsarten kann die Bewegung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers dienen.

Bleibt die Einwirkung des Luftwiderstandes auf die Bewegung unberücksichtigt, so vermindert sich die Geschwindigkeit des aufwärts geworfenen Steines in gleichen Zeiten um das gleiche Maß und zwar für jede Sekunde, während welcher er im Steigen begriffen ist, um annähernd 10 m, so daß er, wenn beispielsweise seine Anfangsgeschwindigkeit 50 m betrug, nach fünf Sekunden an seinem höchsten Punkte angekommen ist. Die Bewegung ist

eine gleichmäßig verzögerte. Fällt derselbe Stein wieder zurück, so ist seine Geschwindigkeit im Augenblicke des Beginnes seiner abwärts gerichteten Bewegung gleich Null. Am Ende der ersten Sekunde ist die Geschwindigkeit des Steins gleich 10 m, am Ende der zweiten Sekunde gleich 2.10 m und am Ende der fünften Sekunde gleich 5.10 m. Der Stein fällt also nach 10 Sekunden auf demselben Punkt wieder zurück, von welchem aus er in die Höhe geworfen wurde. Die Fallbewegung des Steines ist dabei eine gleichmäßig beschleunigte.

Die Ursache, welche die Geschwindigkeitsänderungen des Steins bei seinem Aufsteigen und bei seinem Falle bewirkte, ist seine Schwere. Diese bleibt dieselbe, gleichviel,*) an welchem Punkte seiner Bahn sich der Stein befindet.

Dieser Gleichheit der Kraft ist die Gleichmäßigkeit der Beschleunigung und der Verzögerung der Bewegung zuzuschreiben. Wirkt nun, außer seiner Schwerkraft, noch eine andere, nicht in jedem Augenblicke gleich starke Kraft auf den Stein ein, so ändern sich die Geschwindigkeits-Zunahmen und Abnahmen seiner Bewegung für gleiche Zeiten, die Bewegung wird demnach eine ungleichmäßig beschleunigte oder eine ungleichmäßig verzögerte. Diese zweite Kraft bildet in unserem Falle der Luftwiderstand, welcher dem Quadrate der Geschwindigkeit des Steins proportional ausfällt.

Es können hier nur gleichmäßig beschleunigte und verzögerte Bewegungen betrachtet werden, weil ein Eingehen auch auf die ungleichmäßig beschleunigten und verzögerten Bewegungen uns zu weit führen würde.

Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Wir haben bereits angeführt, daß ein fallender Körper nach der ersten Sekunde die Geschwindigkeit 10 m, nach der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit $2 . 10 = 20$ m, nach der fünften Sekunde die Geschwindigkeit $5 . 10 = 50$ und allgemein nach der t ten Sekunde eine Geschwindigkeit von $t . 10$ m annimmt, es bleibt aber noch anzugeben, welchen Weg er während der t Sekunden zurücklegt. Wird die Geschwindigkeitszunahme in Metern, welche für den fallenden Stein 10 m pro Sekunde betrug, allgemein mit g bezeichnet, so ist die Geschwindigkeit nach der t ten Sekunde gleich $t . g$ Meter und der nach t Sekunden zurückgelegte Weg

$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

Man findet also die Geschwindigkeit in der tten Sekunde, indem man die Geschwindigkeitszunahme in einer Sekunde mit der Zahl t multiplicirt. Der

*) Anmerkung. Thatsächlich nimmt das Gewicht eines Körpers ab, je weiter er sich von dem Mittelpunkte der Erde entfernt, es ist die Abnahme des Gewichtes jedoch eine so geringe, daß sie für practische Rechnungen unberücksichtigt bleiben darf.

in dieser Zeit zurückgelegte Weg wird gefunden, indem man die in Sekunden ausgedrückte Zeitdauer der Bewegung mit sich selbst multiplicirt und das Product nochmals mit der halben Geschwindigkeitszunahme in einer Sekunde multiplicirt.

Aufgabe 1. Es soll ermittelt werden, nach welcher Zeit ein von der Station abfahrender Zug eine Geschwindigkeit von 20 Metern pro Sekunde annimmt und welche Strecke er bis zur Erreichung dieser Geschwindigkeit zurücklegt, wenn die Geschwindigkeitszunahme pro Sekunde zu $^1/_2$ Meter angenommen wird.

Auflösung. Da die Anfangsgeschwindigkeit des abfahrenden Zuges Null und die Geschwindigkeitszunahme pro Sekunde gleich $^1/_2$ Meter sein soll, so erreicht der Zug in 40 Sekunden die verlangte Geschwindigkeit von 20 Metern. Der durchlaufene Weg ergiebt sich nach unserer Regel zu

$$\frac{40 \,.\, 40 \,.\, ^1/_2}{2} = 400 \text{ m.}$$

Aufgabe 2. Es soll ermittelt werden, in welcher Zeit und auf welcher Strecke sich die Geschwindigkeit eines sich mit 25 Metern pro Sekunde bewegenden Zuges auf 18 m vermindert, wenn die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um $^1/_3$ Meter nachläßt.

Der mit 25 m Geschwindigkeit fahrende Zug würde nach $\frac{25}{^1/_3} = 75$ Sekunden zum Stillstande kommen und in dieser Zeit einen Weg von

$$\frac{75 \,.\, 75 \,.\, 1/}{2} = 937{,}5 \text{ m}$$

durchfahren. Der mit nur 18 m Geschwindigkeit fahrende Zug braucht $\frac{18}{^1/_3} = 54$ Sekunden, bis er zum Stillstande kommt, und durchläuft in dieser Zeit einen Weg von

$$54 \,.\, 54 \cdot \frac{^1/_3}{2} = 486 \text{ m}$$

Die Differenz beider Wege ergiebt mit 937,5 — 486 = 451,5 m offenbar den Weg, welchen der Zug bei der Verminderung seiner Geschwindigkeit von 25 auf 18 Meter durchfährt, und die Differenz der entsprechenden Zeiten mit 75 weniger 54, also mit 21 Sekunden, die zu der Verminderung der Geschwindigkeit erforderliche Zeit.

Parallelogramm der Geschwindigkeiten. Die für das Zusammenwirken mehrerer Kräfte auf einen Körper ermittelten Beziehungen treffen auch zu, wenn an Stelle der Kräfte Geschwindigkeiten gesetzt werden. Der Satz von dem Parallelogramme der Geschwindigkeiten lautet demzufolge:

Die resultirende Bewegung von zwei unter einem Winkel stattfindenden Bewegungen eines Körpers ist gleich der Diagonale des Parallelogramms, welches man aus diesen construiren kann.

In gleicher Weise wie dort mehr als zwei Kräfte durch eine einzige Mittelkraft (Resultirende) ersetzt werden konnten, indem man nach und nach je zwei Kräfte zu einer vereinigte, können auch hier mehrere Bewegungen eines Punktes zu einer einzigen vereinigt werden.

Wird ein in Bewegung gesetzter Körper, z. B. ein schräg in die Höhe geworfener Stein, durch eine stetig wirkende Kraft — hier durch seine Schwerkraft — von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt, so bildet seine Bahn eine gebogene Linie. Wir gehen weder auf diese, noch auf andere Bewegungen in krummer Bahn näher ein, weil dieselben verhältnißmäßig wenig Interesse für den Eisenbahnbeamten haben.

Nur die Bewegung in der Kreisform soll später bei der Besprechung der Centrifugalkraft behandelt werden.

Beziehungen zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung. Es wurde bereits Eingangs des Kapitels „Dynamik" erörtert, daß ein ruhender Körper ohne Einwirkung äußerer Kräfte nicht in Bewegung geräth, und daß ferner ein in Bewegung befindlicher Körper nur unter der Einwirkung äußerer Kräfte zur Ruhe gelangt.

Um die Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit der ertheilten Bewegung, dem Gewichte des bewegten Körpers und der zur Anwendung kommenden Kraft zu erkennen, ist es nöthig, für Geschwindigkeit, Gewicht und Kraft je eine Maßeinheit festzustellen. Eine nur momentan wirkende Kraft bringt überhaupt keine Bewegung des Körpers hervor,* es gehört vielmehr ein längeres Wirken der Kraft dazu, dem Körper die Bewegung zu ertheilen.

Eine während eines bestimmten Zeitraumes ununterbrochen auf einen Körper einwirkende Kraft bewirkt aber eine beschleunigte Bewegung dieses Körpers, dessen Geschwindigkeit c nach der ersten Sekunde ein Maß annimmt, welches durch die Formel

$$c = 10 \cdot \frac{P}{Q} m$$

ausgedrückt wird. In dieser Formel bezeichnet P die zur Wirkung kommende Kraft in Kilogrammen, Q das Gewicht des bewegten

---

* Anmerkung. Die Erscheinung, daß ein Körper, z. B. eine Kugel, welche gegen eine zweite Kugel stößt, diese in Bewegung setzt, widerspricht nur scheinbar der obigen Behauptung. Die Berührungsflächen beider Kugeln platten sich während des Stoßes etwas ab und bezeichnet die Zeitdauer dieser Abplattung zugleich die Zeit, während welcher die erste Kugel die ruhende in Bewegung zu setzen sucht.

Körpers in Kilogrammen und c die Geschwindigkeitszunahme (Acceleration) in Metern des Körpers in jeder Sekunde.

In Worten ausgedrückt lautet diese Formel:

Die Beschleunigung eines Körpers ist 10mal größer als die durch sein Gewicht getheilte Kraft, welche ihn in Bewegung setzt.

In der Mechanik pflegt man den Werth von $\frac{Q}{10}$, also das durch 10 getheilte Gewicht eines Körpers, als seine Masse zu bezeichnen, es findet demnach auch zwischen Beschleunigung, bewegender Kraft und Masse die folgende Beziehung statt:

Die Beschleunigung eines Körpers ist gleich der durch seine Masse getheilten bewegenden Kraft.

Aufgabe. Es soll untersucht werden, nach welcher Zeit ein Pferd einen Eisenbahnwagen von 15 Tonnen Gewicht in eine Geschwindigkeit von 2 Metern pro Sekunde versetzt, wenn es mit einer Kraft von 60 kg denselben fortzieht.

Auflösung. Das Gewicht Q des Wagens beträgt 15000 kg und die bewegende Kraft 60 kg, es ist also die Beschleunigung (oder die Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde)

$$c = \frac{10 . P}{Q} = \frac{10 . 60}{15000} = \frac{1}{25} \text{ m}$$

Da die Geschwindigkeitszunahme in jeder weiteren Sekunde ebenfalls $^1/_{25}$ m beträgt, so sind $2 : {}^1/_{25}$ oder 50 Sekunden zur Erreichung der verlangten Geschwindigkeit von 2 m erforderlich.

Der während dieser Zeit zurückgelegte Weg berechnet sich zu

$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2 = \frac{1}{25} \cdot \frac{50 . 50}{2} = 50 \text{ m}^*$$

Kraft und Arbeit. Eine Kraft ist, wie wir gesehen haben, nur dann im Stande, eine Bewegung hervorzurufen, wenn sie längere Zeit auf einen Körper einwirkt, damit ist aber keineswegs zugleich ausgesprochen, daß in letzterem Falle eine Bewegung unter allen Umständen auch wirklich erfolgt.

So kann sich z. B. unter Umständen ein Pferd vergeblich bemühen, ein Fuhrwerk in Bewegung zu setzen. Trotz der großen Kraftanstrengung des Thieres ist seine Leistung gleich Null, indem der Wagen eben so ruhig stehen bleibt, als ob seine Fortbewegung gar nicht versucht würde.

* Anmerkung. Es ist bei dieser Rechnung auf den Widerstand durch die Zapfenreibung der Achsen, die rollende Reibung der Räder 2c. keine Rücksicht genommen.

Werden zwei Pferde vor den Wagen gespannt, so mögen diese im Stande sein, den Wagen in t Sekunden um s Meter weit fortzuziehen.

In der doppelten Zeit wird der Wagen doppelt so weit fortgezogen und die doppelte Arbeit verrichtet; die Arbeit wächst also dem zurückgelegten Wege s proportinal.

Wird der vorher zu schwere Wagen bis auf sein halbes Gewicht entladen, so bedarf er zu seiner Fortschaffung nur der halben Kraft, es wird ihn also ein Pferd in t Sekunden s Meter weit zu ziehen im Stande sein. Weil jetzt nur die halbe Last bewegt ist, so beträgt die Leistung nur die Hälfte der früheren, die Leistung wächst und fällt demnach mit der zur Anwendung kommenden Kraft.

Da demnach die Arbeit sowohl dem zurückgelegten Wege, als auch der angewendeten Kraft proportional ist, so muß sie dem Produkte beider oder dem Ausdrucke Ps gleich sein.*

In der Praxis ist die Bezeichnung verschiedener Leistungen als Arbeitseinheit üblich. Am gebräuchlichsten sind die Ausdrücke „Meterkilogramm" und „Pferdekraft".

Man bezeichnet als Meterkilogramm die Arbeit, welche aufzuwenden ist, um ein Gewicht von einem Kilogramm einen Meter hoch zu heben, als Pferdekraft dagegen die Leistung, bei welcher ein Gewicht von 75 kg in einer Sekunde einen Meter hoch gehoben wird. Da es hier nur auf das Produkt aus den zu überwindenden Widerständen mal den zurückgelegten Wegen ankommt, so entspricht z. B. auch der Ausdruck „Meterkilogramm" der gleichen Leistung, wenn 1 kg 1 m oder wenn $^1/_2$ kg 2 m oder wenn n kg $^1/_n$ m hoch gehoben werden.

Es ist üblich, die Leistung von Dampfmaschinen, Wasserrädern, Windmühlen u. s. w. in Pferdekräften anzugeben. Bei der Beurtheilung der betreffenden Arbeiten darf jedoch nicht übersehen werden, daß alle diese Maschinen nicht, wie das bei Pferden der Fall ist, der Ruhe bedürfen, daß sie also beliebig lange in ununterbrochener Thätigkeit bleiben können.

Aufgabe. Es soll die Leistung einer Dampfmaschine in Pferdekräften ermittelt werden, wenn der Durchmesser des Dampfcylinders 20 cm, der Kolbenhub 40 cm, der mittlere Dampfdruck auf jeden qcm Kolbenfläche 5 kg beträgt und wenn das Schwungrad 80 Umgänge pro Minute macht.

---

* Anmerkung. Dieser Satz besagt dasselbe, wie die bereits früher angegebene goldene Regel der Mechanik, nach welcher das, was an Kraft (durch Anwendung von Hebelwerken oder anderen Mechanismen) gewonnen wird, an Weg (Geschwindigkeit) wieder verloren geht.

Auflösung. Die Größe des Kolbenquerschnitts beträgt bei 20 cm Durchmesser 10.10.3,14 = 314 qcm und daher der Dampfdruck auf den Kolben 5.314 = 1570 kg. Bei jeder Umdrehung des Schwungrades bewegt sich der Kolben zweimal durch den Cylinder, er legt also einen Weg von 2.40 oder von 80 cm = 0,8 m zurück. Da das Schwungrad in jeder Minute 80 Umgänge macht, so ergiebt sich der Kolbenweg in einer Minute zu 80.0,8 = 64 m und in jeder Sekunde zu $\frac{64}{60}$ m. Die in der Sekunde geleistete Arbeit — Kraft mal Weg — ist $1570 \cdot \frac{64}{60} = 1675$ mkg. Da eine Pferdekraft einer Leistung von 75 mkg pro Sekunde entspricht, so würden obige 1675 mkg eine Leistung von $\frac{1675}{75} = 22^1/_3$ Pferdekräften ergeben, wenn nicht ein Theil der Arbeit durch Reibung der Maschinentheile gegeneinander verloren ginge. Wird dieser Verlust zu 40 % angenommen, so berechnet sich die Leistung der Maschine zu $0,6 . 22^1/_3 = 13,4$ Pferdekräften.

Lebendige Kraft. Ist bei der Fortbewegung eines Körpers kein äußerer Widerstand zu überwinden, so wird, wie bei dem durch ein Pferd gezogenen Wagen unseres früheren Beispiel, die ganze Kraft dazu verwandt, dem Gegenstande eine immer größere Geschwindigkeit zu ertheilen. Vermöge dieser Geschwindigkeit ist der Körper im Stande, unter allmählicher Verminderung dieser die vorher aufgenommene Arbeit wieder abzugeben. Es besitzt daher jeder in Bewegung befindliche Körper einen gewissen Arbeitsvorrath, der um so größer ist, je schwerer der Körper und je größer die Geschwindigkeit ist.

Wird ein Körper von dem Gewichte Q oder der Masse M $\left(\text{es ist dabei } M = \frac{Q}{10}\right)$ durch eine ununterbrochen wirkende Kraft P in Bewegung gesetzt, also z. B. ein Eisenbahnwagen durch ein Pferd angezogen, so nimmt er nach t Sekunden eine Geschwindigkeit

$$v = 10 \cdot \frac{P}{Q} \cdot t \text{ m an.}$$

Beträgt der Weg, welchen der Wagen bis zur Erreichung dieser Geschwindigkeit zurückgelegt hat, s Meter, so hat das Pferd eine Arbeit von s . P . Meterkilogrammen verrichtet. Es findet nun zwischen der Endgeschwindigkeit v und dem Gewichte Q des Wagens und der Arbeit s . P des Pferdes die folgende Beziehung statt:

$$s . P = {}^1/_2 \cdot \frac{Q}{10} \cdot v^2$$

oder auch, da

$$M = \frac{Q}{10} \text{ ist}$$

$$s \,.\, P = {}^1/_2 \,.\, M\,v^2$$

Wollte man den sich mit der Geschwindigkeit v bewegenden Wagen durch eine Kraft P aufhalten, so würde er noch den Weg s durchlaufen, bevor er zum Stillstande käme, denn

$$s = \frac{0{,}5\,M\,v^2}{P}.$$

Der Ausdruck $^1/_2 M v^2$ und der diesem gleiche Werth $^1/_{20} . Q v^2$ wird in der Mechanik die lebendige Kraft des Körpers von dem Gewichte Q genannt.

Die lebendige Kraft eines Körpers ist dem Quadrate seiner Geschwindigkeit mal dem zwanzigsten Theile seines Gewichtes gleich.

Die Arbeit, welche ein in Bewegung befindlicher Körper vermöge seiner lebendigen Kraft verrichten kann, wächst proportional seinem Gewichte und proportional dem Quadrate seiner Geschwindigkeit, die letztere ist daher von größerer Bedeutung als das Gewicht.

Aufgabe. Ein Eisenbahnzug von 200 Tonnen Gewicht bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 45 Kilometern pro Stunde, es fragt sich, mit welcher Kraft dieser Zug zu bremsen ist, wenn er auf einer Strecke von 100 Metern zum Stehen gebracht werden soll.

Auflösung. Das Gewicht des Zuges Q ist 200 Tonnen = 200000 kg, seine Geschwindigkeit 45 km pro Stunde $= \frac{45000}{60 . 60}$ 12,5 m pro Sekunde. Seine lebendige Kraft ist:

$$^1/_2 \frac{Q}{10} \cdot v^2 = {}^1/_2 \frac{200000}{10} \cdot 12{,}5 . 12{,}5 = 1262500 \text{ mkg*}$$

Wird die erforderliche Bremswirkung mit P bezeichnet, so ist die durch die Bremsen zerstörte Arbeit 100 . P mkg, da die Bremsen auf einer Strecke von 100 Metern in Wirksamkeit sein sollen.

Wird diese Arbeit der lebendigen Kraft des Zuges gleich gesetzt, so ist

$$100\,P = 1562500,$$

also P = 15625 kg = 15,625 Tonnen.

Bei dem Gewichte des Zuges von 200 Tonnen erfordert demnach jede Tonne Zuggewicht eine Bremswirkung von $\frac{15{,}625}{200} = 0{,}078\,t = 78\,kg$

Diese Bremswirkung würde zu vervierfachen sein, wenn der Zug sich mit der doppelten, also mit 90 km Geschwindigkeit bewegt, sie ist dagegen nur zu verdoppeln, wenn der Zug bei 45 km Geschwindigkeit auf einer Strecke von nur 50 m hätte zum Stehen gebracht werden sollen.

* Anmerkung. mkg = Meterkilogramm, t = Tonne.

Da die Bremswirkung der Räder höchstens dem siebenten Theile ihrer Belastung gleich kommt, so ist auch nur eine Bremswirkung von $\frac{1000}{7} = 143$ kg pro Tonne Zuggewicht zu erzielen, selbst wenn alle Wagen des Zuges mit Bremsen versehen sind. Wollte man auch annehmen, daß bei einem solchen Zuge diese volle Wirkung für alle Bremsen von dem Augenblicke ihres Anziehens an einträte, so würde der Zug doch nicht auf einer Strecke von 50 m zum Stehen zu bringen sein, weil dazu eine Bremskraft von $2 . 78 = 156$ kg pro Tonne Zuggewicht erforderlich wäre.*)

Fliehkraft oder Centrifugalkraft. Wenn ein Schleifstein in sehr rasche Umdrehungen versetzt wird, so kann es vorkommen, daß er zerspringt und daß seine einzelnen Theile fortgeschleudert werden.

Bezeichnet P die Größe dieser Fliehkraft, v die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper vom Gewichte Q sich in der Entfernung r um einen Punkt bewegt, so ist:

$$P = \frac{Q}{10} \cdot \frac{v^2}{r}$$

oder, da $\frac{Q}{10}$ gleich M, gleich der Masse des sich bewegenden Körpers ist,

$$P = M \frac{v^2}{r}$$

In Worten ausgedrückt lautet dieses Gesetz:

Die Fliehkraft eines Körpers ist dem zehnten Theile seines Gewichtes mal dem Quadrate seiner durch den Halbmesser des betreffenden Kreises getheilten Geschwindigkeit gleich.

Aufgabe. Es soll untersucht werden, mit welcher Kraft ein sich mit einer Geschwindigkeit von 79,2 Kilometern pro Stunde durch eine Curve von 600 m Radius bewegender Eisenbahnwagen die äußere Schiene umzuwerfen sucht, wenn das Gewicht des Wagens 10 Tonnen beträgt.

---

*) Anmerkung. Diese Verhältnisse lassen deutlich die Nutzlosigkeit von Bemühungen erkennen, Bremsen zu erfinden, welche ein noch rascheres oder gar ein augenblickliches Anhalten der Züge bewirken sollen. Selbst angenommen, daß man sich mit einer Bremsstrecke von 10 Metern für den Zug mit 45 km, und von 40 Metern für einen Zug mit 90 km Geschwindigkeit begnügen wollte, würde die hemmende Kraft für jede Tonne Zuggewicht 780, also für einen beladenen Wagen von 15 Tonnen Gewicht 11000 kg betragen müssen. Ein solcher Druck gegen die Fahrrichtung des Wagens ausgeübt, muß diesen aber nothwendigerweise zerstören. Die Verhältnisse gestalten sich noch weit ungünstiger, wenn die Bremsvorrichtung nicht an jedem Wagen angebracht ist, wenn das eine Fahrzeug also zugleich die folgenden mitbremsen soll.

Auflösung. Die Geschwindigkeit von 79,2 Kilometern pro Stunde entspricht einer Geschwindigkeit von $\frac{79200}{60.60} = 22$ Metern pro Sekunde.

Da das Gewicht des Wagens 10000 kg und der Halbmesser der betreffenden Curve 600 Meter betragen soll, so ist

$$P = \frac{10000}{10} \cdot \frac{22.22}{600} = 807 \text{ kg}.$$

Der Wagen übt also einen Druck von 807 kg normal gegen den äußeren Schienenstrang aus.

Reibung. Bewegt sich ein Körper über einen andern fort, der ihm zur Stütze dient, so setzt sich an der Berührungsstelle beider der Bewegung ein Hinderniß, nämlich die Reibung, entgegen.

Jenachdem der eine Körper auf dem anderen gleitet oder rollt, hat man es mit gleitender oder rollender Reibung zu thun. Der Coefficient oder Bruch, welcher das Verhältniß des Gewichtes des sich bewegenden Körpers zu der Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung erforderlich ist, bezeichnet, wird der Reibungscoefficient beider Körper genannt.

Der Reibungscoefficient, der hier und fernerhin mit f bezeichnet werden möge, ist für verschiedene aufeinander gleitende oder rollende Körper ebenfalls verschieden, dagegen innerhalb praktischer Grenzen unabhängig sowohl von der Größe, als auch von dem Drucke der betreffenden Flächen und von der Geschwindigkeit der Bewegung. Der Reibungswiderstand F dagegen wächst dem Drucke der Körper proportinal, während er gleichfalls von der Größe der Flächen und der Geschwindigkeit unabhängig ist. Bezeichnet demnach Q das Gewicht eines Körpers, welcher über einen andern hin fortgeschoben wird, so ist:

$$F = f . Q,$$

wobei f mit dem Materiale der Körper wechselt.

Die Größe des Reibungscoefficienten f ist durch eine große Anzahl von Versuchen für verschiedene Körper ermittelt. Im Allgemeinen ist der Reibungscoefficient größer, wenn sich zwei gleiche, als wenn sich zwei verschiedene Körper auf- oder ineinander bewegen, man soll demnach beispielsweise schmiedeiserne Wellen womöglich nicht in schmiedeisernen Lagern laufen lassen.

Ferner nimmt die Reibung zu, wenn sich die Körper erhitzen. So ist es jedem Führer bekannt, daß ein Zug erheblich schwerer läuft, so bald sich eine oder mehrere Achsen warm gelaufen haben.

Die Reibung nimmt ab, je glatter die Oberflächen der betreffenden Körper sind, und vermindert sich ferner, wenn zwischen die

gleitenden Flächen ein Schmiermittel gebracht wird, es erweisen sich jedoch nicht alle Schmiermittel in gleicher Weise als wirksam. Ist der Druck auf die Flächeneinheit bedeutend, so kommen besser consistentere (dickflüssigere) Schmiermittel, und wenn er verhältnißmäßig gering ist, besser dünnflüssigere Schmiermittel zur Anwendung.

Die Mineralöle verflüchtigen sich meist bei ihrer Erhitzung, sie sind also im Allgemeinen dort nicht verwendbar, wo es sich um die Reibung heißer Körper — z. B. der Schieber oder Kolben von Dampfcylindern — handelt.

Außer von der Glätte der Oberflächen hängt der Reibungscoefficient noch von der Form der Oberflächen — ob diese eben oder ob sie gebogen sind — ab. Die Reibung gebogener Flächen kommt namentlich bei der Bewegung der Zapfen in ihren Lagern in Frage.

Es findet ferner ein bedeutender Unterschied statt, ob ein auf einem zweiten ruhender Körper in Bewegung gesetzt wird, oder ob ein bereits in Bewegung befindlicher Körper in Bewegung erhalten werden soll. Der erstere, stets größere Coefficient wird der Reibungscoefficient der Ruhe, und der zweite der Reibungscoefficient der Bewegung genannt. Zeigt, wie das z. B. bei Holz der Fall ist, das Gefüge der betreffenden Körper eine vorherrschende Richtung der Fasern, so ist es nicht einerlei, ob die Bewegung mit oder ob sie gegen die Richtung der Fasern erfolgt. Bei Holz und anderen faserigen Körpern soll aus diesem Grunde womöglich die Richtung der Fasern sich kreuzen.

Die folgenden beiden, H. v. Waldegg's Eisenbahn-Kalender (Verlag von J. F. Bergmann in Wiesbaden) entnommenen Tabellen geben den Reibungscoefficienten f für verschiedene Körper an.

Reibungscoefficient, wenn die Reibungsflächen eben sind.

Reibende Körper	Lage der Fasern	Zustand der Oberflächen	Reibungscoefficient der Ruhe	Reibungscoefficient der Bewegung
Gußeisen auf Gußeisen oder Bronce	—	wenigfettig	0,16	0,15
	—	mit Wasser	—	0,31
„ auf Eiche	parallel	trocken	—	0,49
	parallel	trockene Seife	—	0,19

Reibende Körper	Lage der Fasern	Zustand der Oberflächen	Reibungscoefficient der Ruhe	Reibungscoefficient der Bewegung
Schmiedeisen auf Schmiedeisen	—	trocken	—	*
„ auf Gußeisen oder Bronce	—	trocken	0,19	0,18
„ auf Eiche	parallel	mit Wasser	0,65	0,26
	parallel	mit Talg	0,11	0,08
Bronce auf Bronce	—	trocken	—	0,20
„ auf Gußeisen	—	trocken	—	0,21
„ auf Schmiedeisen	—	etwas fettig	—	0,16
Messing auf Eiche	parallel	trocken	0,62	—
Eiche auf Eiche	parallel	trocken	0,62	0,48
	parallel	trockene Seife	0,44	0,16
	gekreuzt	trocken	0,54	0,34
	gekreuzt	mit Wasser	0,71	0,25
Eichenhirnholz mit Eiche	parallel	trocken	0,43	0,19

Coefficienten für Zapfenreibung.

Reibende Körper	Zustand der Oberflächen	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, auf gew. Art	ununterbrochen
Gußeisen auf Gußeisen	geschmiert	0,08	0,054
	fettig	0,14	—
„ auf Bronce	geschmiert	0,08	0,054
	fettig	0,16	—
„ auf Pockholz	geschmiert	—	0,09
	fettig	0,10	—
Schmiedeisen auf Gußeisen	geschmiert	0,08	0,054
„ auf Bronce	geschmiert	0,08	0,054
	fettig	0,25	—
„ auf Pockholz	geschmiert	0,11	—
	fettig	0,19	—

Die Größe der rollenden Reibung scheint mit wachsendem Halbmesser der Räder abzunehmen.

Für Eisenbahnräder beträgt der Coefficient für die rollende Reibung etwa 0,00025 bis 0,0005.

* Die Oberflächen greifen sich ohne Schmiere an.

Aufgabe. (Gleitende Reibung.) Ein Wagen von 10 Tonnen Gewicht soll bei festgebremsten Rädern verschoben werden; es ist der Widerstand zu ermitteln, welchen er seiner Bewegung entgegensetzt.

Auflösung. Wird der Reibungscoefficient der Ruhe für Schmiedeisen auf Schmiedeisen zu $1/5$ und der der Bewegung zu $1/7$ angenommen, so ergiebt sich der bei dem Beginne der Bewegung zu überwindende Widerstand zu $\frac{10000}{5} = 2000$ kg, und der Widerstand, welcher sich der Fortsetzung der Bewegung entgegensetzt, zu

$$\frac{10000}{7} = 1431 \text{ kg}.$$

Aufgabe. (Zapfenreibung.) Die vier Räder eines Eisenbahnwagens mögen einen Durchmesser von je 0,9 m haben und ihre Gesammtbelastung möge 10 Tonnen betragen; es soll ermittelt werden, welchen Widerstand die Zapfenreibung der Fortbewegung des Wagens entgegensetzt, wenn der betreffende Reibungscoefficient 0,015 beträgt und der Zapfen einen Durchmesser von 9 cm besitzt.

Auflösung. Die Reibung der vier Schenkel in ihren Lagern ergiebt sich aus dem Gesammtgewichte des Wagens und dem obigen Reibungscoefficienten zu

$$10 \,.\, 1000 \,.\, 0{,}015 = 150 \text{ kg}.$$

Da aber die Umfangsgeschwindigkeit des Zapfens geringer ist als die der Räder, so vermindert sich dieser Widerstand, wenn er auf den Umfang der Räder und also auch auf die Geschwindigkeit des Wagens bezogen wird, in dem Verhältnisse der betreffenden Durchmesser, also auf

$$150 \cdot \frac{9}{90} = 15 \text{ kg}.$$

Aufgabe. (Rollende Reibung.) Es soll die rollende Reibung für das Fahrzeug des vorigen Beispiels ermittelt werden.

Auflösung. Wird der betreffende Coefficient zu 0,0005 angenommen, so berechnet sich die rollende Reibung zu

$$10 \,.\, 1000 \,.\, 0{,}0005 = 5 \text{ kg},$$

es beträgt also der Widerstand der rollenden und der Zapfenreibung zusammen 20 kg für obigen Wagen. Da die Reibungscoefficienten der Ruhe weit größer als die der Bewegung sind, so genügt allerdings eine Kraft von 20 kg, den einmal in Bewegung befindlichen Wagen weiter zu schieben, sie reicht aber bei Weitem nicht dazu aus, den stillstehenden Wagen in Bewegung zu setzen.

Stoß zweier Körper. Wenn zwei in Bewegung befindliche Körper, z. B. zwei hintereinander herfahrende Eisenbahnwagen, zusammentreffen, so wird der sich rascher bewegende hintere Wagen einen Theil seiner Geschwindigkeit verlieren und der vordere Wagen an Geschwindigkeit gewinnen. Die Geschwindigkeitsänderungen fallen jedoch verschieden aus, je nachdem der hintere Wagen der leichtere oder der schwerere ist und je nachdem die Wagen mit elastischen Stoßvorrichtungen — mit Buffern — versehen sind oder nicht.

Es giebt nun weder vollkommen elastische noch gänzlich unelastische Körper, die nachstehend für beide angegebenen Regeln und berechneten Beispiele können daher nur auf eine beschränkte Zuverlässigkeit Anspruch machen.

Der unelastische Stoß. Bewegen sich zwei nicht mit Buffern ausgerüstete Wagen (Kieswagen) von den Gewichten q und Q mit den Geschwindigkeiten v und V hinter einander her, so werden sie sich, falls die Geschwindigkeit V des hinteren Wagens größer ist als die des vorderen, treffen, und nach erfolgtem Stoße mit einer für beide gleichen Geschwindigkeit c fortbewegen, welche aus der Formel:

$$c = \frac{Q \, . \, V + q \, . \, v}{Q + q}$$

berechnet werden kann.

In Worten ausgedrückt lautet diese Formel:

Wenn zwei unelastische Körper aufeinander stoßen, so wird ihre Geschwindigkeit nach dem Stoße gefunden, indem man ihre Gewichte einzeln mit ihren Geschwindigkeiten multiplicirt und die Summe dieser Producte durch die Summe der Gewichte beider theilt.

Für Q gleich q, wenn also beide Wagen gleich schwer sind, wird

$$c = \frac{V + v}{2}.$$

Die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße ist also halb so groß wie die Summe beider Geschwindigkeiten vor dem Stoße.

Bewegen sich beide Wagen nach entgegengesetzten Richtungen hin, so ist die eine Geschwindigkeit mit dem Minuszeichen in die Rechnung einzuführen.

Aufgabe. Ein Wagen von 10 t Gewicht läuft mit einer Geschwindigkeit von 10 m pro Sek. hinter einem andern Wagen von nur 5 t Gewicht her, welcher sich mit nur 5 m Geschwindigkeit bewegt; es ist die Geschwindigkeit nach dem Aufeinanderprallen der Wagen zu ermitteln, wenn diese nicht mit Buffern ausgerüstet sind.

Auflösung. Es ist Q = 10 und q = 5, ferner V = 10 und v = 5, daher

$$c = \frac{Q \, . \, V + q \, . \, v}{Q + q} = \frac{10 \, . \, 10 + 5 \, . \, 5}{10 + 5} = \frac{125}{15} = 8{,}33 \, \text{m}.$$

Wären beide Wagen gleich schwer gewesen, so würde die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße $\frac{10 + 5}{2}$ oder $7^1/_2$ Meter betragen haben.

Bewegen sich die Wagen vor dem Stoße nach entgegengesetzten Richtungen hin, so wird nach dem Stoße

$$c = \frac{Q \cdot V - q \cdot v}{Q + q} = \frac{10 \cdot 10 - 5 \cdot 5}{10 + 5} = \frac{75}{15} = 5 \text{ m}$$

und gleich

$$\frac{10 - 5}{2} = 2{,}5 \text{ m},$$

wenn das Gewicht beider Wagen gleich groß gewesen wäre.

Von dem Augenblicke an, in welchem die beiden Wagen sich treffen, bis sie sich gemeinschaftlich fortbewegen, erleiden sie an ihren Berührungsstellen Formveränderungen, welche, da diese Berührungsstellen unelastisch sein sollen, nach dem Stoße nicht wieder verschwinden. Die Arbeit, welche diese Formveränderungen verursacht und die also eine Zerstörung der beiden Wagen selbst, oder eine Lockerung ihrer Theile bewirkt, wird gefunden, wenn man die lebendige Kraft beider Wagen nach dem Stoße von der vor dem Stoße abzieht. Die Rechnung gestaltet sich für die beiden verschieden schweren Wagen wie folgt. Die lebendige Kraft des schwereren Wagens vor dem Stoße beträgt

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{10 \cdot 1000}{10} \cdot 10^2 = 50000 \text{ mkg}$$

und die des leichteren Wagens

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{5 \cdot 1000}{10} \cdot 5^2 = 6250 \text{ mkg}$$

also die Summe beider 56250 mkg.

Die lebendige Kraft beider Fahrzeuge nach dem Stoße beträgt, wenn die Wagen sich hintereinander bewegen,

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{10 \cdot 1000 + 5 \cdot 1000}{10} \cdot 8\frac{1}{3} \cdot 8\frac{1}{3} = 52083 \text{ mkg},$$

es sind also 56250 — 52083 oder 4167 mkg oder 7,4 Procent der ursprünglichen Kraft durch den unelastischen Stoß verloren gegangen. Bewegen sich die gleichen Fahrzeuge mit obigen Geschwindigkeiten gegeneinander, so beträgt ihre lebendige Kraft nach dem Stoße nur noch

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{10 \cdot 1000 + 5 \cdot 1000}{10} \cdot 5 \cdot 5 = 18750 \text{ mkg},$$

es sind also 56250 — 18750 = 37500 mkg oder 66,8% der ursprünglichen lebendigen Kraft verloren gegangen. Die Betrachtung zeigt, daß durch jeden unelastischen Stoß ein Theil der vorhandenen lebendigen Kraft, also auch Arbeit verloren geht. Zur Herabminderung dieser Verluste, welche, wo sie auch auftreten, stets bei Eisenbahnfahrzeugen durch die Kraftquelle, also durch die Locomotive, ersetzt werden müssen, erweist sich auch bezüglich der Herabminderung der Zugkraft eine gute Lagerung der Fahrzeuge auf Tragfedern als vortheilhaft.

Der elastische Stoß. Bei dem elastischen Stoße, wenn also in den früheren Fällen die Wagen mit Stoßbuffern versehen sind, fällt die Geschwindigkeitsvermehrung des getroffenen Wagens doppelt, und die Geschwindigkeitsverminderung des stoßenden Wagens ebenfalls doppelt so groß aus, wie bei den Wagen ohne Buffer. Es wird

also in dem ersten Beispiele, sobald sich beide Wagen in der gleichen Richtung bewegen, der vordere Wagen nach dem Stoße mit 8,33 + (8,33 — 5) = 11,66 m Geschwindigkeit und der hintere Wagen mit 8,33 — (10 — 8,33) = 6,66 m Geschwindigkeit weiterlaufen. Bei gleichen Wagengewichten ergeben sich die Geschwindigkeiten nach dem Stoße für den vorderen gestoßenen Wagen zu 7,5 + (7,5 — 5) = 10 m und für den stoßenden Wagen zu 7,5 — (10 — 7,5) = 5 m. Der zweite Wagen hat also seine ganze überschüssige Geschwindigkeit an den vorderen Wagen abgegeben.

Bewegten sich die Wagen in entgegengesetzten Richtungen, so ergiebt sich die der ursprünglichen Richtung entgegengesetzte Geschwindigkeit für den leichteren Wagen nach dem Stoße zu 15 m und für den schwereren Wagen zu Null.

Haben beide Wagen gleiches Gewicht und gleiche Geschwindigkeit, so behalten sie ihre Geschwindigkeit auch nach dem Stoße, die Bewegung eines jeden Wagens erfolgt aber nach dem Stoße in gegen früher entgegengesetzter Richtung.

Wird ein stillstehender Wagen von einem gleich schweren zweiten Wagen fortgestoßen, so bleibt letzterer an dem Orte stehen, wo der Stoß erfolgte, während der vordere Wagen mit der früheren Geschwindigkeit des zweiten weiterläuft.*

Statik flüssiger Körper (Hydrostatik).

Flüssige Körper werden unter einem auf sie ausgeübten Drucke in so geringem Maße zusammengedrückt und dehnen sich in Folge dessen auch bei dem Nachlassen des Druckes so wenig aus, daß sie für die Praxis als vollkommen unelastisch angesehen werden dürfen.

Gleichheit des Druckes nach allen Seiten. Wird auf Wasser, welches sich in einem allseitig geschlossenen Gefäße befindet, an einer Stelle ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich der Druck nach allen Richtungen hin gleichmäßig fort, das Wasser übt also auf jede gleich große Fläche des Gefäßes den gleichen Druck aus.

Ist das in Fig. 232 dargestellte Gefäß mit Ansatzröhren versehen, welche der Reihe nach a, b, c und d qcm Querschnitt haben,

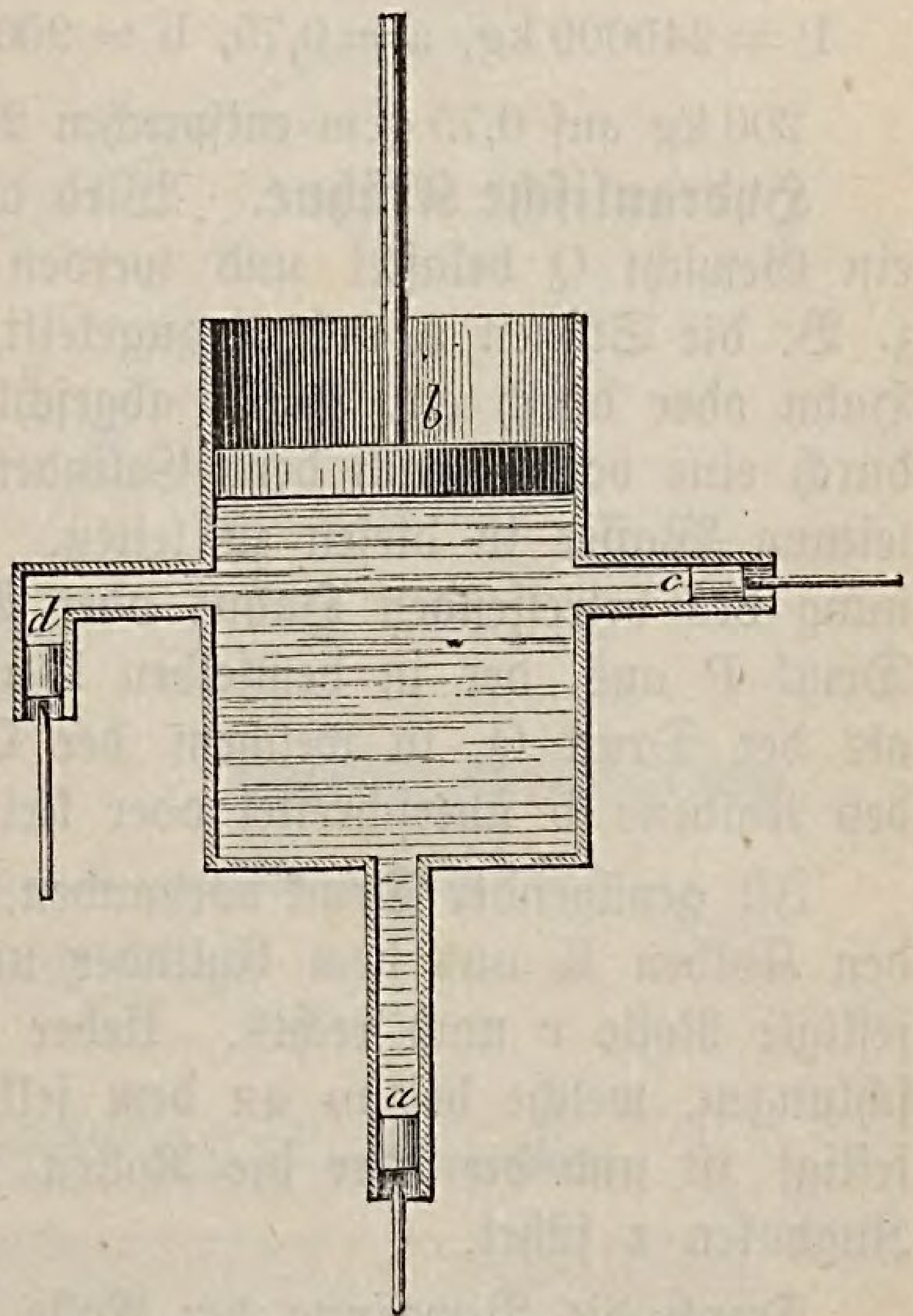
---

* Wenn diese Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen nicht ganz mit den in der Praxis zutreffenden stimmen, so hat das seinen Grund in dem Umstande, daß die Buffer nie vollkommen elastisch sind, daß also stets ein mehr oder minder erheblicher Theil der vorhandenen lebendigen Kraft durch den Stoß verloren geht.

so wird ein bei a ausgeübter Druck von P kg den Kolben b mit der Kraft $P \cdot \frac{b}{a}$ den Kolben c mit der Kraft $P \cdot \frac{c}{a}$ und den Kolben d mit der Kraft $P \cdot \frac{d}{a}$ fortdrücken.

Von dieser Eigenschaft des Wassers wird beispielsweise bei den **hydraulischen Pressen**, welche im Eisenbahndienste namentlich zum Auf- und Abpressen der Räder auf und von Achsen dienen, Anwendung gemacht.

Fig. 232.



Das Aufpressen der Räder auf die Achsen erfolgt unter einem Drucke von 250000 kg und mehr. Um diesen Druck auszuüben, wird mit Hülfe einer Druckpumpe von kleinem Querschnitt a des Kolbens in einen weiten Cylinder Wasser gepreßt. Das Wasser sucht sich hier Platz zu verschaffen und drängt dabei einen Kolben, dessen Querschnitt b qcm betragen möge, mit einer Kraft P fort, welche sich zu

$$P = p \cdot \frac{b}{a} \text{ kg}$$

berechnet, wenn a den Querschnitt des großen Kolbens in Quadratcentimetern und p den in Kilogrammen ausgedrückten Druck auf den Pumpenkolben bezeichnet.

Der Druck auf den großen Kolben verstärkt sich also gegen p in dem Verhältnisse der betreffenden Kolbenflächen, während sich allerdings die Geschwindigkeit seiner Bewegung zu der des kleinen Kolbens in demselben Verhältnisse vermindert. Da die Arbeit an jedem Kolben dem Produkte aus Kraft mal Weg gleich ist, so wird durch die hydraulische Presse selbstverständlich an Arbeit nichts gewonnen.

Die Kraft des großen Kolbens wird in geeigneter Weise auf das ab- oder aufzupressende Rad oder die betreffende Achse übertragen.

Aufgabe. Mit Hülfe einer hydraulischen Presse soll unter Anwendung eines Druckes von 240000 kg ein Rad auf eine Achse gepreßt werden; es ist anzugeben, welcher Druck p auf den Kolben der Pumpe auszuüben ist, wenn der kleine Kolben 0,75 qcm und der große Kolben 900 qcm Querschnitt hat?

Auflösung.

$$P = p \frac{b}{a}; \; P\,a = p\,b; \; p = \frac{P \,.\, a}{b}.$$

$$P = 240000 \text{ kg}, \; a = 0{,}75, \; b = 900, \; p = \frac{240000 \,.\, 0{,}75}{900} = 200 \text{ kg}.$$

200 kg auf 0,75 qcm entsprechen 266 kg auf 1 qcm, d. i. 266 Atm.

Hydraulische Krähne. Wird der Kolben b der Fig. 232 durch ein Gewicht Q belastet und werden zwei der übrigen Rohrstutzen, z. B. die Stutzen a und d zugekeilt, und der Stutzen c durch einen Hahn oder durch ein Ventil abgeschlossen, so ist man in der Lage, durch eine von c nach dem Cylinder C, Fig. 233, führende Rohrleitung Wasser in diesen zu leiten. Dieses Wasser übt nach Oeffnung des betreffenden Hahns oder Ventils auf den Kolben K einen Druck P aus, der in demselben Verhältnisse größer oder kleiner ist als der Druck Q, in welchem der Querschnitt des Kolbens K den des Kolbens b überschreitet oder kleiner ist als dieser.

Ist genügender Druck vorhanden, so treibt das zufließende Wasser den Kolben K aus dem Cylinder und drückt die vorn an ihm befestigte Rolle r nach rechts. Ueber diese Rolle ist eine Kette geschlungen, welche bei m an dem selbst festliegenden Cylinder C befestigt ist und die über die Rollen r, r′, r″ und r‴ nach dem Zughaken z führt.

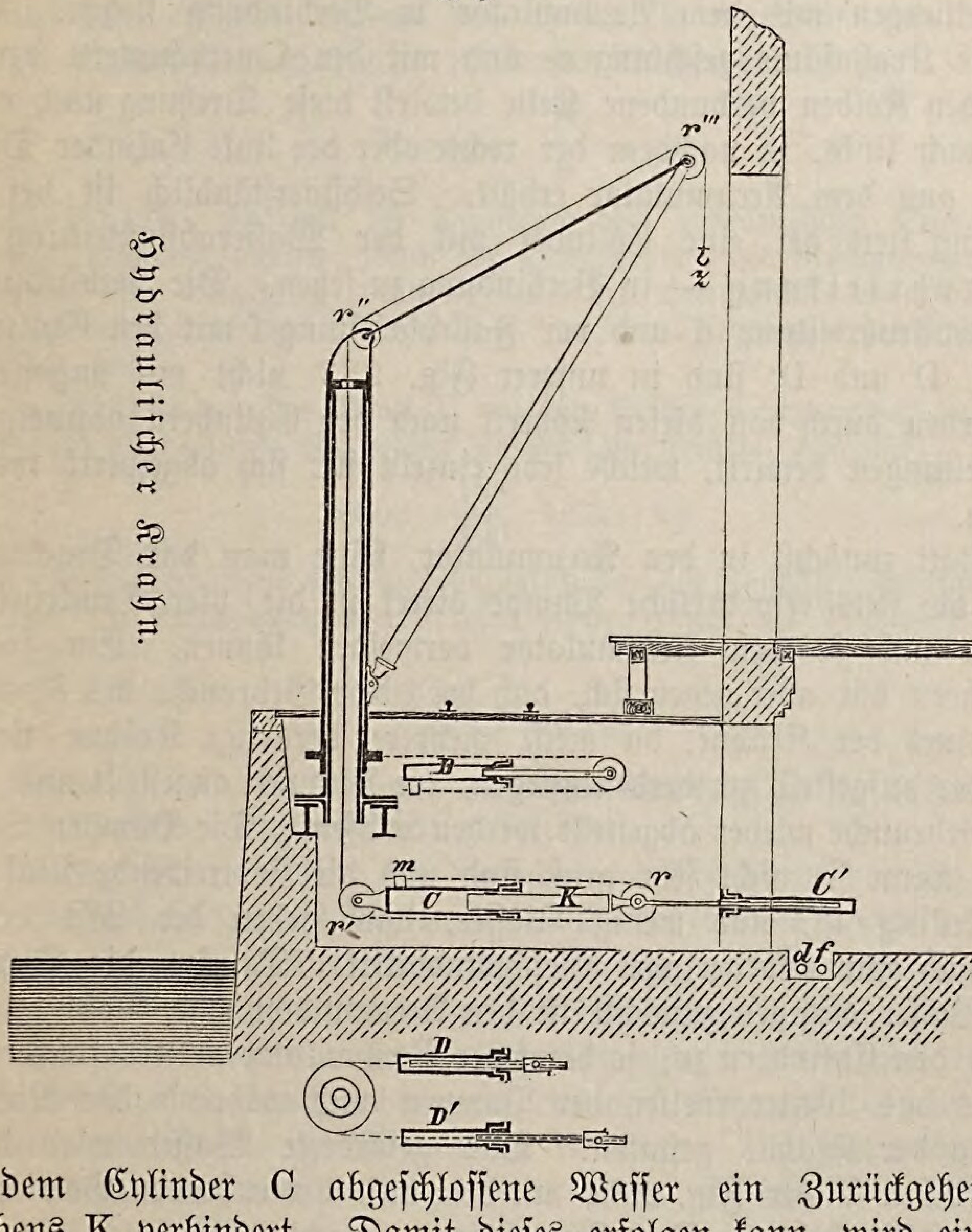
Durch die Bewegung der Rolle r nach rechts wird der Zughaken z und also auch eine an diesem befestigte Last L mit der doppelten Geschwindigkeit der Kolbenbewegung gehoben, wobei, eben wegen dieser größeren Geschwindigkeit, das Gewicht der Last höchstens halb so groß sein darf, wie der Wasserdruck P auf den Kolben K.

Um ohne eine Verlängerung des Cylinders C die Hubhöhe des Krahns zu vergrößern, werden meist mehrere Rollen nebeneinander in dem Querhaupte des Kolbens K vereinigt, denen feste, mit dem Cylinder verbundene Rollen gegenüberstehen. Wird die Kette der Reihe nach um je eine feste und eine lose Rolle geschlungen, so bildet die Vorrichtung einen umgekehrten Flaschenzug, die Vergrößerung der

Hubhöhe bewirkt demnach eine Verminderung der Tragkraft des Krahns.

Soll die gehobene Last herabgelassen werden, so muß die Rohrleitung nach dem Accumulator, wie das Gefäß der Fig. 232 bei hydraulischen Krahnanlagen genannt wird, geschlossen werden. Hierdurch wird aber nur ein Stillstand der Last bewirkt, weil das

Fig. 233.



in dem Cylinder C abgeschlossene Wasser ein Zurückgehen des Kolbens K verhindert. Damit dieses erfolgen kann, wird eine das Wasser aus K abführende zweite Rohrleitung geöffnet. Genügt das an dem Haken z hängende Gewicht, die verschiedenen Reibungswiderstände der Rollen und des Kolbens mit der Stopfbüchse zu überwinden, so wird sie niedersinken und dabei den Kolben K zurückdrängen. Reicht die Last zu diesem Zwecke nicht aus oder wird sie,

oben angekommen, abgehängt, so dient der kleinere, dem Cylinder C gegenüber liegende Cylinder C′ zum Zurückdrücken des Kolbens, indem man durch eine von dem Accumulator nach ihm führende Rohrleitung Druckwasser in ihn leitet.

Der Krahn bedarf noch einer Vorrichtung zum Herumschwenken des Ausladers um die Krahnsäule. Diese wird durch die beiden horizontalen Cylinder D und D′ gebildet, welche ebenfalls durch Rohrleitungen mit dem Accumulator in Verbindung stehen. Eine um die Krahnsäule geschlungene und mit den Querhäuptern der betreffenden Kolben verbundene Kette bewirkt diese Drehung nach rechts oder nach links, je nachdem der rechte oder der linke Cylinder Druckwasser aus dem Accumulator erhält. Selbstverständlich ist bei der Drehung stets der eine Cylinder mit der Wasserabflußleitung — Fallrohrleitung — in Verbindung zu setzen. Die Verbindungen der Druckrohrleitung d und der Fallrohrleitung f mit den Cylindern C, C′, D und D′ sind in unserer Fig. 233 nicht mit angegeben; sie werden durch von diesen Röhren nach den Cylindern abzweigende Rohrleitungen bewirkt, welche jede einzeln für sich abgesperrt werden können.

Statt zunächst in den Accumulator, hätte man das Druckwasser durch die stets erforderliche Pumpe direct in die vier Druckcylinder drücken und so den Accumulator vermeiden können. Ein solches Verfahren hat aber gegen sich, daß bei jedem Gebrauche des Krahnes oder eines der Krähne, da meist mehrere derartige Krähne nebeneinander aufgestellt zu werden pflegen, die Pumpen angestellt und nach dem Gebrauche wieder abgestellt werden müssen. Die Pumpen liefern dabei, wenn sie nicht sehr groß sind und die sie treibende Maschine recht kräftig ist, nur wenig Wasser, das Heben der Last erfolgt also auch nur mit geringer Geschwindigkeit. Drücken die Pumpen das Wasser dagegen zunächst in den Accumulator und fließt es aus diesem den Cylindern zu, so dient der Accumulator als Kraftreservoir, welches das Weiterarbeiten der Pumpen auch während der Nichtbenutzung der Krähne gestattet. Das geförderte Wasser wird dabei den Kolben b der Fig. 232 mit dem auf ihm ruhenden Gewichte Q in die Höhe heben. Der Accumulator macht aber auch die Geschwindigkeit, mit welcher Lasten durch die Krähne gehoben werden, unabhängig von der Größe der Pumpen, weil diese Geschwindigkeit allein von der Weite der Rohrleitungen und dem Maße der Oeffnung der verschiedenen Ventile abhängt. Die Beziehungen zwischen der Tragkraft der hydraulischen Krähne, und der Belastung des Kolbens b

und den Querschnitten der Kolben b und C sind einfach zu ermitteln. Ist nur eine Rolle in dem Querhaupte des Kolbens K angebracht, so ist die Hubgeschwindigkeit der Last doppelt so groß wie die des Kolbens K, bei zwei Rollen dagegen 4mal, bei drei Rollen 6mal, bei vier Rollen 8mal u. s. f. größer. Umgekehrt aber wie die Geschwindigkeiten verhalten sich die zu hebenden Lasten. Bezeichnen ferner b und K die Querschnitte der Kolben b und K und beträgt die auf dem ersteren ruhende Last Q kg, so berechnet sich der den Kolben K aus dem Cylinder treibende Wasserdruck P zu

$$P = Q \cdot \frac{K}{b}.$$

Beispiel. Es soll die Tragkraft des hydraulischen Krahnes der Fig. 233 ermittelt werden, wenn der Querschnitt b des Accumulatorkolbens 400 qcm, seine Belastung 10000 kg und der Querschnitt des Kolbens K 100 qcm beträgt und wenn drei Rollen r in dem Querhaupte des Kolbens K vereinigt sind.

Auflösung. Der Druck P auf den Kolben K vermindert sich gegen Q in dem Verhältnisse der beiden Kolben-Querschnitte, also auf

$$10000 \cdot \frac{100}{400} = 2500 \text{ kg}.$$

Diese Kraft vermindert sich aber bezüglich der am Zughaken Z anzuhängenden Last bei Anwendung von 3 losen Rollen r um das 2 . 3 oder 6fache, also auf

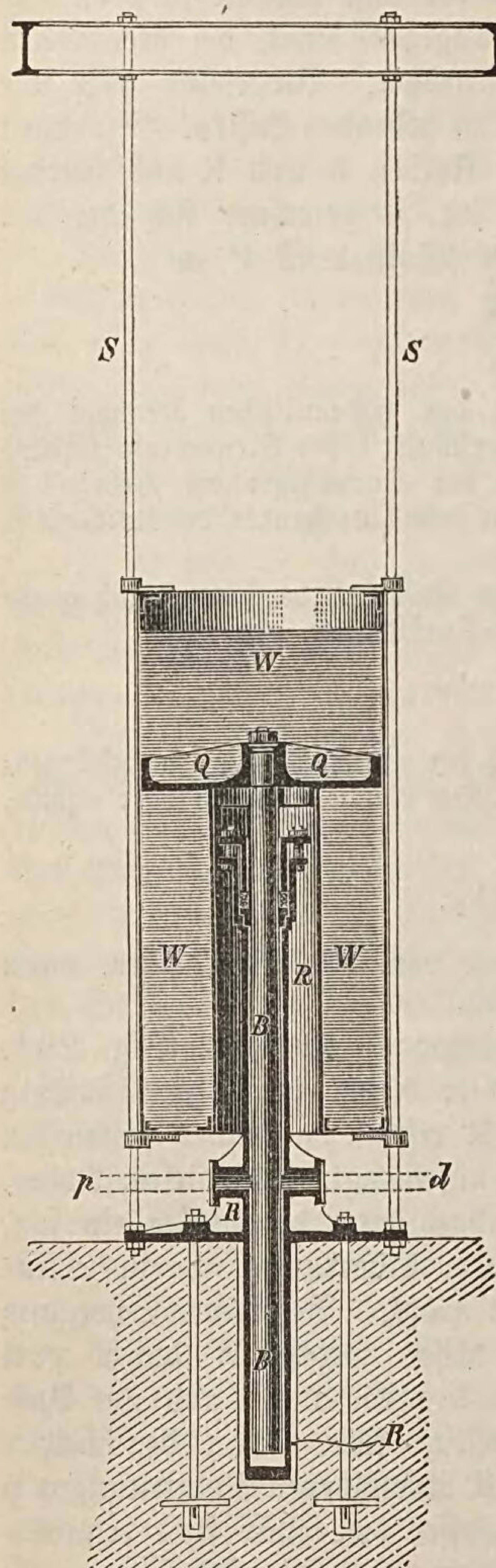
$$\frac{2500}{6} = 416 \text{ kg},$$

der Krahn ist also im Stande, eine Last von 416 kg zu heben, wenn Reibungsverluste 2c. unberücksichtigt bleiben.

In der Praxis erhält der Accumulator die Form der Fig. 234. Der Wasserbehälter der Fig. 232 ist hier durch ein verhältnißmäßig langes und enges cylindrisches Rohr R ersetzt, das unten geschlossen ist und in das Fundamentmauerwerk hineinragt. In diesem Rohre, mit ihm oben durch eine Stopfbüchse abgedichtet, bewegt sich ein sog. Plungerkolben B, welcher oben an einem Querhaupte Q ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes Gefäß W trägt. Bei seiner Bewegung nach oben und nach unten wird dieses Gefäß W durch zwei Stangen S geführt, die an der Decke des Gebäudes und am Auflagerflantsche für den Cylinder R befestigt sind. Von den beiden durch Ansatzstutzen mit dem Cylinder R verbundenen Rohrleitungen p und d führt die erstere diesem Druckwasser von einer stets erforderlichen Pumpenanlage zu, während die zweite d die Fortsetzung der gleich bezeichneten Druckrohrleitung der Fig. 233 bildet.

Wird Wasser durch die Rohrleitung p in den Cylinder gepumpt, so hebt sich mit dem Kolben B das Wassergefäß W, während es wieder sinkt, so bald die Rohrleitung d nach der Krahnanlage geöffnet wird. Es ist dabei nicht ausgeschlossen, daß beide Rohrleitungen p und d gleichzeitig geöffnet und geschlossen sind. Während der Kolben B im letzteren Falle still steht, vermindert sich die Geschwindigkeit seiner abwärts gerichteten Bewegung, so bald beide Leitungen geöffnet sind, weil ein Theil des abfließenden Wassers durch die Pumpen wieder ersetzt wird.

Fig. 234.

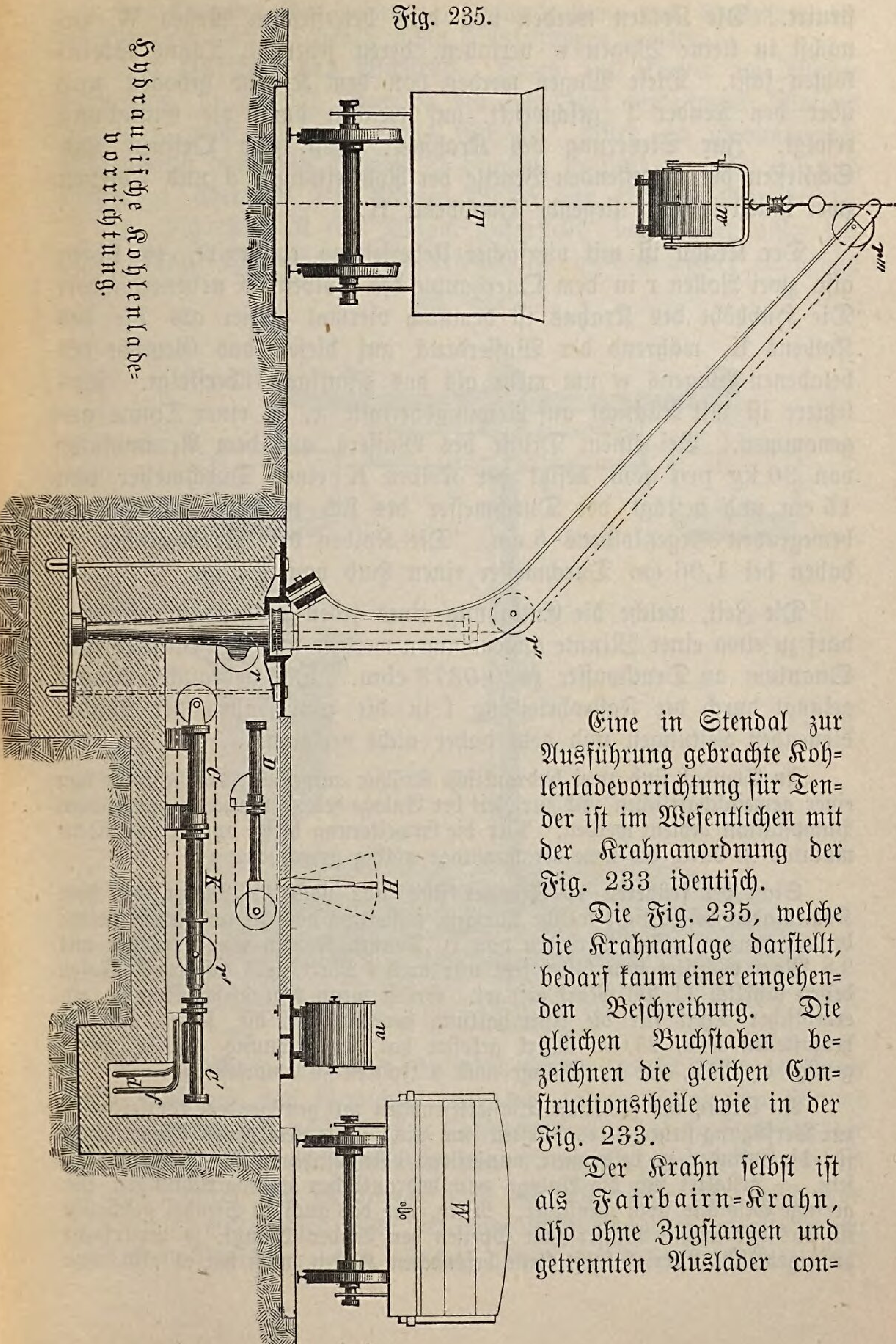


Accumulator.

Damit der Kolben B bei dem Niedersinken nicht auf den Boden stoßen kann, ist entweder die Einrichtung so zu treffen, daß der Wasserbehälter W vorher zum Aufliegen kommt, oder es ist derselbe mit der Absperrvorrichtung der Rohrleitung d so verbunden, daß diese kurz vorher abgeschlossen wird. Bei dem Aufgange des Kolbens ist ebenfalls durch den Wasserbehälter für das Druckwasser von den Pumpen ein Ausweg zu schaffen, sobald der Kolben am Ende seines Hubes angekommen ist.

Statt, wie in Fig. 234, das Gefäß mit Wasser zu füllen, wird es auch häufig durch eingelegte Gewichtsstücke belastet, die natürlich eine im Verhältniß zu ihrem größeren specifischen Gewichte geringere Ausdehnung als das Wasser bekommen dürfen.

Fig. 235.



Hydraulische Kohlenlade-vorrichtung.

Eine in Stendal zur Ausführung gebrachte Kohlenladevorrichtung für Tender ist im Wesentlichen mit der Krahnanordnung der Fig. 233 identisch.

Die Fig. 235, welche die Krahnanlage darstellt, bedarf kaum einer eingehenden Beschreibung. Die gleichen Buchstaben bezeichnen die gleichen Constructionstheile wie in der Fig. 233.

Der Krahn selbst ist als Fairbairn-Krahn, also ohne Zugstangen und getrennten Auslader con-

struirt. Die Kohlen werden von dem betreffenden Wagen W zunächst in kleine Wagen w verladen, deren jeder $^1/_2$ Tonne Steinkohlen faßt. Diese Wagen werden von dem Krahne gehoben und über den Tender T geschwenkt, auf welchen dann die Entladung erfolgt. Zur Steuerung des Krahnes, resp. zum Oeffnen und Schließen der betreffenden Ventile der Rohrleitungen d und f dienen zwei hintereinander liegende Handhebel H.

Der Krahn ist mit vierfacher Uebersetzung construirt, es liegen also zwei Rollen r in dem Querhaupte des Kolbens K nebeneinander. Die Hubhöhe des Krahns ist demnach viermal größer als die des Kolbens K, während der Wasserdruck auf diesen das Gewicht des beladenen Wagens w um mehr als das Fünffache übersteigt. Das letztere ist mit Rücksicht auf Reibungsverluste &c. zu einer Tonne angenommen. Bei einem Drucke des Wassers aus dem Accumulator von 30 kg pro qcm besitzt der Kolben K einen Durchmesser von 15 cm und beträgt der Durchmesser des sich in dem Cylinder C′ bewegenden Gegenkolbens 5 cm. Die Kolben der Drehcylinder D haben bei 1,06 cm Durchmesser einen Hub von 1,1 m.

Die Zeit, welche die Entladung eines jeden Wagens w erfordert, darf zu etwa einer Minute angenommen werden und das entsprechende Quantum an Druckwasser zu 0,0373 cbm. Das gebrauchte Wasser gelangt durch die Fallrohrleitung f in die zum Füllen der Tender dienenden Leitungen und geht daher nicht verloren.

In Stendal sind zwei hydraulische Krähne aufgestellt, welche beide von einer gemeinschaftlichen und zur Zeit der Anlage bereits vorhanden gewesenen Pumpstation bedient werden. Nur die Erweiterung dieser durch einen Accumulator ist durch die neue Krahnanlage nöthig geworden.

Statt der früheren 19 Arbeiter sind nur noch 12 Mann mit dem Kohlenladen beschäftigt, welche übrigens außerdem noch zu anderen Arbeiten benutzt werden. Das Verladen von 10 Tonnen Kohlen wurde früher mit 9,8 Mark vergütet und kostet jetzt nur noch 4 Mark, und werden in Folge dessen jährlich 11,200 Mark erspart. Selbst wenn von dieser Summe ein erheblicher Theil für die Unterhaltung der Anlage, die, soweit sie neu herzustellen war, 25,000 Mark gekostet hat, in Rechnung gestellt wird, genügt der Rest, um die Anlage nach 3 Jahren zu amortisiren.

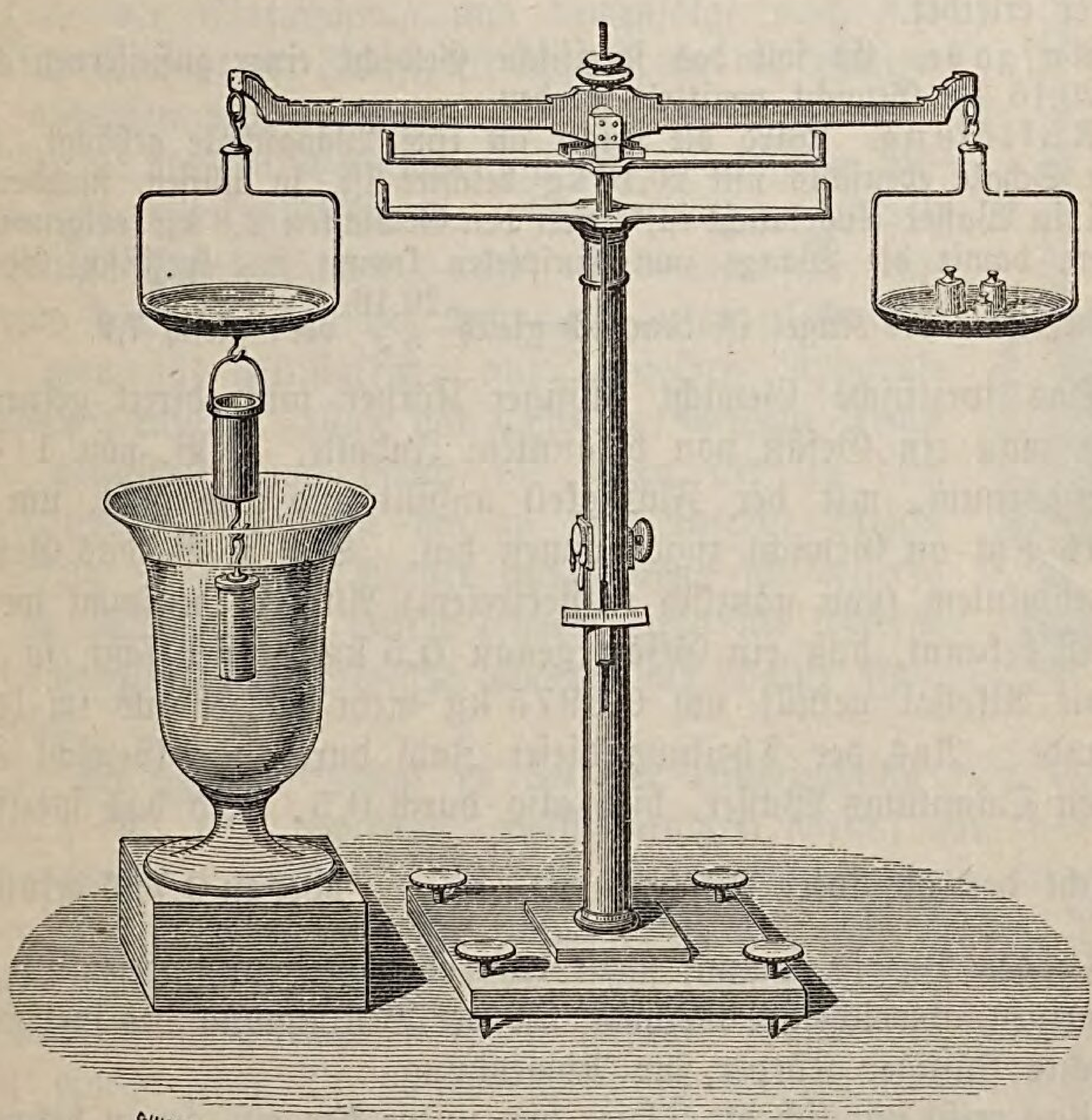
An Orten, wo städtische Wasserleitungen mit genügendem Wasserdrucke zur Verfügung stehen — es dürften, um nicht unbequem große Dimensionen für die Cylinder zu bekommen, mindestens 6 Atmosphären Druck erforderlich sein, — gestaltet sich die Anlage von hydraulischen Ladevorrichtungen für geringe Gewichte noch günstiger. Wird, wie das auch in Stendal geschehen ist, das gebrauchte Wasser zum Speisen der Tender benutzt, so verursacht die eigentliche Betriebskraft keine besonderen Kosten, man hat es also nur

mit den Ausgaben für Bedienung, Instandhaltung und Verzinsung der Krahnanlage nebst der erforderlichen Rohrleitungen zu thun.

Der Auftrieb des Wassers. Wenn ein Körper im Wasser schwimmt, so ist das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers genau so groß wie sein eigenes Gewicht. Wird ein schwimmender Gegenstand durch ein Gewicht Q belastet, so sinkt er tiefer ein und verdrängt abermals eine Menge Wasser von gleichem Gewichte Q.

In Fig. 236 ist eine Waage dargestellt, bei welcher unter der einen Schale ein kleiner Eimer befestigt ist, an dem wieder ein genau

Fig. 236.



in seine Höhlung passender Cylinder hängt; taucht man, nachdem durch Auflegen von Gewichten auf die andere Schale die Waage zum Einstellen gebracht ist, den Cylinder in Wasser, so senkt sich die Waagschale mit den Gewichten (der kleine Cylinder wird also im Wasser leichter) und die Waage stellt sich erst wieder ein, wenn man den Eimer mit Wasser füllt; der eingetauchte Cylinder hat also genau so viel an Gewicht verloren, wie das von ihm verdrängte Wasser wiegt.

Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Körper. Diese Erscheinung kann in bequemer Weise zur Bestimmung der spezifischen Gewichte von Körpern benutzt werden.

Unter dem specifischen Gewichte eines Körpers versteht man die Zahl, welche angiebt, um wie viel mal er schwerer ist als eine Menge Wassers von gleichem Rauminhalte. Das Gewicht dieses Wassers ist aber nach dem vorigen der Gewichtsverlust, welchen der Körper erleidet, wenn er im Wasser gewogen wird; das specifische Gewicht eines Körpers wird also gefunden, wenn man sein wirkliches Gewicht durch den Gewichtsverlust theilt, welchen er bei seiner Wägung unter Wasser erleidet.

Aufgabe. Es soll das spezifische Gewicht einer gußeisernen Kugel von 20,16 kg Gewicht ermittelt werden.

Auflösung. Wird die Kugel an eine Waagschale gehängt, deren zweite Schale ebenfalls mit 20,16 kg belastet ist, so müssen, nachdem die Kugel in Wasser eingetaucht ist,*) von den Gewichten 2,8 kg fortgenommen werden, damit die Waage zum Einspielen kommt, das spezifische Gewicht des Gußeisens der Kugel ist demnach gleich $\frac{20,16}{2,8}$ oder gleich 7,2.

Das spezifische Gewicht flüssiger Körper wird direct gefunden, indem man ein Gefäß von bekanntem Inhalte, z. B. von 1 qdm Fassungsraum, mit der Flüssigkeit anfüllt und untersucht, um wie viel es jetzt an Gewicht zugenommen hat. Soll z. B. das Gewicht von absolutem (von gänzlich wasserfreiem) Alkohol bestimmt werden und ist bekannt, daß ein Gefäß genau 0,5 kg Wasser faßt, so mag es mit Alkohol gefüllt um 0,3975 kg mehr wiegen als im leeren Zustande. Aus der Theilung dieser Zahl durch das Gewicht eines gleichen Quantums Wasser, hier also durch 0,5, wird das spezifische Gewicht des absoluten Alkohols zu $\frac{0,3975}{0,5}$ oder zu 0,795 gefunden.

In der Praxis kommt meist eine einfachere und wesentlich von der vorigen abweichende Methode bei der Bestimmung des spezifischen Gewichts flüssiger Körper zur Anwendung.

Man mißt nämlich die Tiefe, bis zu welcher ein genau bekannter und mit einer Skala versehener Körper in die betreffende Flüssigkeit eintaucht, bis er zum Schwimmen kommt. Je geringer das spezifische Gewicht der zu untersuchenden Flüssigkeit ist, um so tiefer taucht der Körper, welcher „Aräometer" genannt wird, unter.

---

*) Anmerkung. Man sollte zu genauen Ermittlungen stets reines Wasser von 4° Celsius benutzen, weil wärmeres oder kälteres Wasser weniger schwer ist und demnach das spezifische Gewicht etwas zu groß angiebt.

Fig. 237.



Aräometer.

Fig. 237 stellt ein Aräometer üblicher Form dar. Dasselbe wird durch eine sich unten erweiternde und mit einer kleinen Klugel abschließende Glasröhre gebildet, welche unten mit etwas Quecksilber beschwert ist. Oben ist das Aräometer zu einer langen und dünnen Röhre ausgezogen, in welche ein mit einer Eintheilung versehener Papierstreifen gesteckt und die dann zugeschmolzen wurde.

Wegen der beschwerten Kugel sinkt das Aräometer mit der Kugel nach unten in die Flüssigkeit ein, wobei die Tiefe der Eintauchung und demzufolge auch das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bequem an der Papierskala abgelesen werden kann.

Bei der großen Verschiedenheit des spezifischen Gewichts mancher Flüssigkeiten (Schwefeläther 0,710, Nordhäuser Schwefelsäure 1,860) würde ein sehr langes und leicht zerbrechliches Aräometer erforderlich sein, wenn man alle Flüssigkeiten mit demselben Apparate untersuchen wollte. Man hat daher verschiedene Aräometer hergestellt, von denen die einen bis zu dem oberen und die anderen bis zu dem unteren Striche der Skala in reinem Wasser untersinken; die ersteren sind für Flüssigkeiten, welche leichter, und die letzteren für solche Flüssigkeiten, welche schwerer als Wasser sind, bestimmt.

In der Praxis kommt es bei der Untersuchung von Flüssigkeiten, z. B. von Spiritus, meist weniger darauf an, das spezifische Gewicht derselben, als das Mischungsverhältniß kennen zu lernen, also zu wissen, wie viel absoluter Alkohol und wie viel Wasser in dem Spiritus vorhanden sind. Da das spezifische Gewicht von Spiritus um so geringer wird, je weniger Wasser der Alkohol hat, wobei einem jeden Mischungsverhältnisse ein bestimmtes spezifisches Gewicht der Flüssigkeit entspricht, so läßt das letztere unmittelbar auf das erstere schließen. Statt daher die Skala nach den spezifischen Gewichten einzutheilen, wird dieselbe so angeordnet, daß die betreffenden Striche direct den Procentgehalt des Spiritus an Alkohol angeben. Solche Aräometer werden Procentaräometer genannt.

Das für Alkohol Gesagte, gilt auch für andere Flüssigkeiten, z. B. für Bier, Milch u. s. w., es werden aber für alle diese

Flüssigkeiten besondere Aräometer mit verschieden getheilten Skalen nothwendig.

Außer den Procentaräometern giebt es noch Aräometer mit willkürlicher Skala — Baumé, Cartier, Tralles, Beck.

Für Flüssigkeiten, welche schwerer als Wasser sind, hat Baumé die Eintheilung in folgender Weise getroffen. Das Aräometer wurde in Wasser von 15,5° C. eingetaucht und so lange durch eingegossenes Quecksilber beschwert, bis es bis zur oberen Spitze der Röhre einsank (Nullpunkt der Skala). Darauf brachte Baumé dasselbe Aräometer in eine Mischung von 85 Theilen Wasser und 15 Theilen Kochsalz und bezeichnete den Punkt, bis zu welchem es einsank. Die Entfernung des früher gefundenen Nullpunktes bis zu dem neuen Punkte wurde in 15 gleiche Theile getheilt und gleiche Theile auch über den mit 15 bezeichneten Punkt hinaus aufgetragen.

Für Flüssigkeiten, welche leichter als Wasser sind, beschwerte Baumé die Kugel eines in eine Mischung von 90 Theilen Wasser und 10 Theilen Salz eingetauchten Aräometers so weit, bis es bis zur oberen Spitze der Röhre — den Nullpunkt der Skala — einsank. Die Entfernung, bis zu welcher das gleiche Aräometer in reinem Wasser einsank, wurde in 10 gleiche Theile getheilt und die Eintheilung noch über den Punkt 10 hinaus fortgesetzt. Ein jeder solcher Theil heißt Grad, und sagt man in der Praxis, eine Flüssigkeit hat 15 Grad Baumé, wenn ein nach Baumé eingetheiltes Aräometer bis zum 15ten Theilstriche in dieselbe eintaucht.

Spezifische Gewichte einiger Körper.

Metalle.

Zink (gegossen)	7,21
Gußeisen	7,21
Zinn	7,29
Schmiedeisen	7,78
Stahl	7,92
Messing	8,40
Kupfer	8,88
Blei	11,35.

Steine, Erden.

Kalkstein	2,45
Gyps (gegossen)	0,97
Sandstein	2,35
Basalt	2,66
Steinkohle	1,23—1,86
Braunkohle	1,2 —1,29

Erde (frisch)	2,06
Erde (trocken)	1,93
Eis	0,93.

Hölzer.

Buche	0,76
Eichenkernholz	1,17
Fichte (trocken)	0,43
Tanne (trocken)	0,55
Kork	0,24.

Flüssigkeiten.

Meerwasser	1,03
Bier	1,01
Wein	0,97
Milch	1,03
Alkohol (absoluter)	0,795
Leinöl	0,94
Rüböl	0,91
Salzsäure	1,09—1,20
Salpetersäure	1,19—1,50.

Gasförmige Körper.*)

Luft	1,000
Kohlenoxydgas	0,941
Kohlensäure	1,524
Wasserdampf bei 100° Celsius .	0,625
Wasserstoff	0,069.

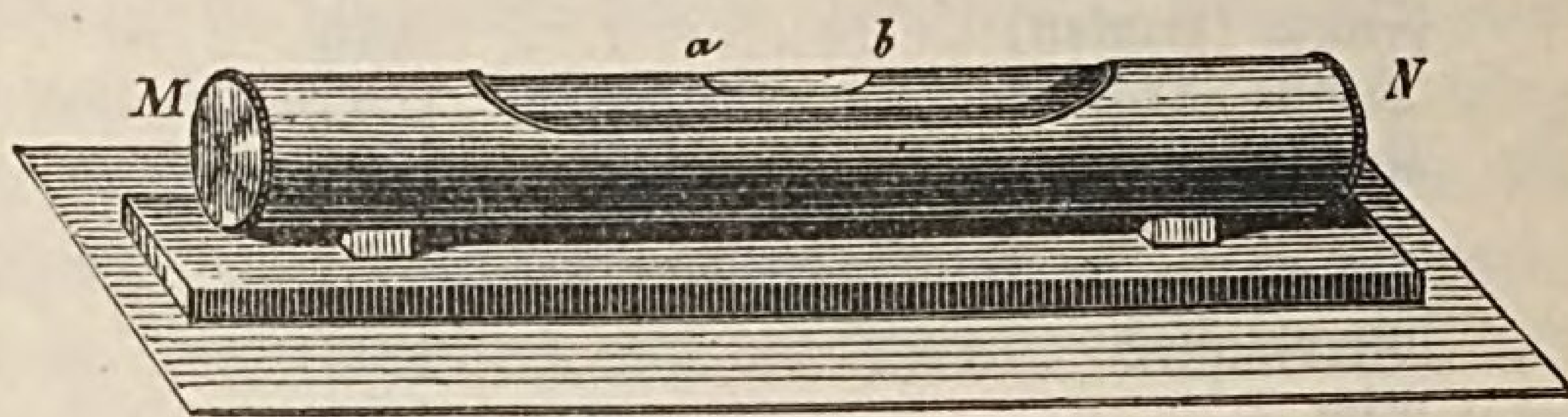
Die Libelle oder Wasserwaage. Wird eine etwas gebogene Glasröhre nahezu mit Wasser gefüllt und dann verschlossen, so zeigt dieselbe, sobald sie mit der convexen Seite nach oben auf eine horizontale Unterlage gelegt wird, in der Mitte der Röhre eine Luftblase. Diese Blase entfernt sich um so weiter aus der Mitte, je mehr geneigt die Unterlage ist, man kann also aus der Stellung der Luftblase in der Röhre auf die Neigung der Unterlage schließen. Auf diese Erscheinung gründet sich die Construction der Libelle oder Wasserwaage. Bei diesem in Fig. 238 dargestellten Instrumente ist obige Glasröhre in eine oben offene Messinghülse M N gesteckt, die selbst wieder auf einer unten gut abgerichteten Messingplatte ruht. Um sicher erkennen zu können, ob sich die Luftblase auch in der Mitte der Glasröhre befindet, ob also auch die Unterlage, auf welche die Libelle gestellt ist, horizontal liegt, pflegt man das Glas an den Punkten a und b leicht einzuritzen.

---

*) Anmerkung. Man bezieht die spezifischen Gewichte gasförmiger Körper auf Luft, die selbst 773mal leichter als Wasser ist.

Libellen, welche zur Horizontalstellung größerer, mit einem Fernrohre ausgestatteter Nivelirinstrumente verbunden sind, erhalten meist bei M ein Scharnier und bei N eine Stellschraube, um sie eventuell berichtigen zu können.

Fig. 238.



Libelle oder Wasserwaage.

Die Kanalwaage ist schon früher (auf Seite 53) besprochen. Wird das Verbindungsrohr der beiden Glascylinder a und b der Fig. 101 durch einen langen Gummischlauch ersetzt und werden die Glascylinder auf kleine Platten befestigt, um sie bequemer aufstellen zu können, so leistet das Instrument oft sehr gute Dienste bei dem Versetzen von Steinen, bei dem Montiren von Wellenleitungen u. s. w. Setzt man z. B. in letzterem Falle die beiden Glascylinder auf zwei Lagerböcke, die in gleicher Höhe liegen sollen, so steht das Wasser in beiden Cylindern gleich hoch, sobald die richtige Höhenlage der Böcke zutrifft. Derartige Untersuchungen mit der Kanalwaage machen aber unbedingt nöthig, daß sich in der Schlauchleitung keine Luft befindet, weil diese den Wasserstand in jedem der beiden Glascylinder meist nicht in gleicher Weise beeinflußt.

Dynamik flüssiger Körper (Hydromechanik).

Die Ausflußgeschwindigkeit von Wasser, welches durch eine Oeffnung aus einem Gefäße abfließt, wächst mit dem Drucke, unter welchem die Entleerung erfolgt. Wird die Geschwindigkeit in Metern pro Secunde des abfließenden Wassers mit v und die Höhe in Metern des über der Oeffnung stehenden Wassers mit H bezeichnet, so ist

$$v^2 = 20 \,.\, H \text{ Meter und } v = \sqrt{20 \,.\, H}.$$

Aufgabe. Eine Cisterne ist bis zu 5 m Höhe mit Wasser angefüllt; es soll angegeben werden, mit welcher Geschwindigkeit das Wasser durch ein im Boden des Gefäßes angebrachtes Loch abfließt.

Auflösung. H ist gleich 5, es wird daher

$$v^2 = 20 \,.\, 5 = 100 \text{ und } v = \sqrt{100} = 10.$$

Das Wasser fließt also mit 10 m Geschwindigkeit ab.

Die aus der Oeffnung fließende Wassermenge wächst offenbar dem Querschnitte a der Oeffnung, ferner der Ausflußgeschwindigkeit v

und endlich der Zeit t proportional, während welcher der Ausfluß erfolgt, es ist demnach

$$Q = a \,.\, v \,.\, t.$$

In Worten ausgedrückt lautet diese Formel:

Die Menge des aus einem Gefäße fließenden Wassers ist gleich dem Producte aus der Ausflußöffnung mal der Ausflußgeschwindigkeit mal der Zeitdauer des Ausflusses.

Aufgabe. Es soll ermittelt werden, wie viel Cubikmeter Wasser in einer Minute aus obigem Gefäße fließen, wenn der Querschnitt der Oeffnung 3 qcm beträgt.

Auflösung. Die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers ist oben bereits zu 10 m pro Sekunde gefunden. Es ist t = 60 Sekunden und der Querschnitt a der Oeffnung gleich $\frac{3}{10000}$ qm*), also

$$Q = a \,.\, v \,.\, t = \frac{3}{10000} \cdot 10 \,.\, 60 = \frac{18}{100} = 0{,}18 \text{ cbm}.$$

Da 1 cbm Wasser 1000 kg wiegt, so fließen in einer Minute 180 kg Wasser aus der Oeffnung.

In Wirklichkeit beträgt die Menge des abfließenden Wassers nur etwa $\frac{6}{10} = 60\,\%$ von der berechneten, also nur 0,108 cbm oder 108 kg, weil der Wasserstrahl die Oeffnung nie ganz ausfüllt und weil außerdem die Ausflußgeschwindigkeit um ein Geringes hinter der berechneten zurückbleibt.

Bewegung von Wasser in Röhren. Soll ermittelt werden, wie viel Wasser eine Rohrleitung in einer bestimmten Zeit liefert, so kann diese Wassermasse in derselben Weise, wie das für aus Gefäßen abfließendes Wasser oben geschehen ist, aus dem Querschnitte a der Leitung, aus der Geschwindigkeit v des Wassers in den Röhren und aus der Zeit t, für welche die Wassermenge ermittelt werden soll, berechnet werden. Es ergiebt sich dabei die Geschwindigkeit v des Wassers in Metern pro Sekunde wieder zu

$$v = \sqrt{20\,H},$$

wobei H den Niveauunterschied des Wasserspiegels an der Bezugsquelle des Wassers (Teich, Fluß, Cisterne u. s. w.) und der Ausflußöffnung der Rohrleitung bezeichnet.

---

*) Anmerkung. Da die Geschwindigkeit v in Sekunden angegeben ist, muß auch die Zeitdauer t in Sekunden ausgedrückt werden. Mit der Angabe des Querschnitts a der Oeffnung liegt der Fall ähnlich. Es wird die Angabe der Wassermenge in Cubikmetern verlangt, es ist demnach auch die Angabe der Oeffnung in Quadratmetern erforderlich.

Diese Formel, also $v = \sqrt{20\,H}$, trifft aber nur für sehr kurze Rohrleitungen zu, weil bei längeren Leitungen ein erheblicher Theil der bewegenden Kraft, also auch der Geschwindigkeit durch die Reibung des Wassers an den Rohrwänden verloren geht.

Durch zahlreiche Versuche hat sich ergeben, daß die Geschwindigkeit v von Wasser in Metern pro Sekunde, welches sich in Rohrleitungen von d Meter Lichtweite und von l Meter Länge bewegt, nach der Formel

$$v = 26{,}79 \sqrt{\frac{d\,H}{l} - 0{,}025}$$

berechnet werden kann, wenn H die obige Bedeutung hat.

Aufgabe. Es soll ermittelt werden, mit welcher Geschwindigkeit sich das Wasser in einer Leitung bewegt, welche die Cisternen einer Wasserstation mit einem um 40 Meter von der Cisterne entfernt stehenden Wasserkrahn verbindet, wenn die Lichtweite der Rohre 144 mm beträgt und der Wasserspiegel in der Cisterne 4 Meter über der Ausgußöffnung des Krahns liegt.

Auflösung. Es ist $d = 0{,}144$ m, $H = 4$ m und $l = 40$ m, also

$$v = 26{,}79 \sqrt{\frac{d\,.\,H}{l} - 0{,}025}\ \text{m}$$

$$= 26{,}79 \sqrt{\frac{0{,}144\,.\,4}{40} - 0{,}025}\ \text{m}$$

$$= 26{,}79 \sqrt{0{,}0144 - 0{,}025}\ \text{m}$$

$$= 26{,}79\,.\,0{,}12 - 0{,}025 = 3{,}215 - 0{,}025 = 3{,}19\ \text{m pro Sekunde.}$$

Hätte man die Geschwindigkeit v nach der früheren Formel

$$v = \sqrt{20\,H} = \sqrt{20\,.\,4}$$

berechnen wollen, so würde man v zu nicht voll 9 m gefunden haben, die Reibung des Wassers an den Rohrwänden vermindert also im vorliegenden Falle die Geschwindigkeit von 9 auf 3,19 oder um nahezu 5,8 Meter.

Um zu ermitteln, in wie viel Sekunden ein Tender durch die Leitung des vorstehenden Beispiels gefüllt werden kann, braucht man nur seinen Fassungsraum durch die pro Sekunde gelieferte Wassermasse zu theilen. Die letztere ergiebt sich aber, wenn d den Durchmesser in Metern bezeichnet, zu

$$0{,}785\,.\,d\,.\,d\,.\,v,$$

also in obigem Beispiele, wo $d = 0{,}144$ und $v = 3{,}19$ ist, zu

$$0{,}785\,.\,0{,}144\,.\,0{,}144\,.\,3{,}19 = 0{,}05\ \text{cbm.}$$

Beträgt der Füllungsraum des Tenders 10 cbm, so ergiebt sich seine Füllungszeit zu $\frac{10}{0{,}05} = 200$ Sekunden oder zu 3 Minuten und 20 Sekunden.

Da die Geschwindigkeit des Wassers annähernd mit der Wurzel aus der Länge (l) der Rohrleitung abnimmt und mit der Wurzel aus der Druckhöhe (h) zunimmt, so erhält man beispielsweise die Füllzeit für einen Krahn, welcher unter sonst gleichen Umständen 100 Meter von der Cisterne entfernt steht, zu

$$200\,.\sqrt{\frac{100}{40}} = 200\sqrt{2{,}5} = 200\,.\,1{,}58 = 316\ \text{Sekunden}$$

oder zu fünf Minuten 16 Sekunden.

Soll diese Füllzeit durch Höherlegung der Cisterne auf 4 Minuten oder auf 240 Sekunden ermäßigt werden, so ist, da $\frac{316}{240} = 1{,}317$, die vorhandene Druckhöhe von 4 Metern auf

$$4 \,.\, 1{,}317 \,.\, 1{,}317 = 6{,}9 \text{ Meter}$$

zu erhöhen.

Die Wassermenge, welche ein Krahn liefert, bleibt oft erheblich hinter der berechneten zurück. Solche Erscheinungen haben meist ihren Grund in Verengungen der Rohrleitung. Scharfe Knicke in den Rohrleitungen, auch Kurvenrohre (Krümmer), bei welchen der Halbmesser der Krümmung weniger beträgt als der vierfache lichte Rohrdurchmesser, beeinflussen die ausfließende Wassermenge und zwar um so mehr, je größer die Geschwindigkeit in den Röhren ist, sie sind aber im Ganzen weniger schädlich als Querschnittsverengungen in der Leitung. Solche können nun sowohl in dem Einlegen einzelner zu enger Rohre, als auch in Verunreinigungen der Leitung durch Schmutz, Steine und andere Körper ihren Grund haben.

Liegt die Leitung von den Cisternen bis zum Wasserkrahne nicht überall im Gefälle, so sammelt sich leicht Luft an ihren oberen Knickpunkten an, welche die Querschnitte ebenso verengt, wie jeder andere in die Leitung gebrachte Körper. Sind solche Knickpunkte nicht zu vermeiden, so müssen auf ihnen Hähne oder Ventile zur Entfernung der Luft angebracht werden.

Bewegung des Wassers in Gräben. Die Wassermenge, welche ein Graben abzuführen im Stande ist, hängt von der Größe und Form seines Querschnittes, von dem Zustande der Wandungen — ob der Graben ausgemauert, ob die Wände rein oder bewachsen sind u. s. f. — und von dem vorhandenen Gefälle ab. Die Geschwindigkeit des Wassers darf ein gewisses Maß nicht überschreiten, das sich nach der Beschaffenheit des Bodenmaterials richtet, damit die Wände vom Wasser nicht angegriffen werden.

Die neben Eisenbahnen fortlaufenden Gräben bestehen meist aus Erde, Sand oder Kies und gestatten eine Wassergeschwindigkeit bis zu 0,2 m für Erde, 0,3 m für Sand und 0,6 m für Kies. Die Geschwindigkeit von Wasser, welches sich in einem vorhandenen Kanale bewegt, wird am sichersten durch directe Messung gefunden, für einen erst noch herzustellenden Kanal muß sie oft durch Rechnung vorher bestimmt werden.

Fig. 239.



Bezeichnet in Fig. 239 A den Querschnitt der Wasserfläche, P die Entfernung von a über b und c nach d, den benetzten Umfang (Perimeter) des Kanalquerschnittes, h das Gefällen in Metern auf eine

ebenfalls in Metern ausgedrückte Kanallänge l, so kann die Geschwindigkeit v des Wassers nach der Formel

$$v = 57 \,.\, \sqrt{\frac{A\,.\,h}{l\,.\,P}}$$

berechnet werden.

Aufgabe. Es soll die Geschwindigkeit des Wassers in einem bis zum Rande gefüllten Graben berechnet werden, wenn die Querschnittsfläche des Grabens 0,5 qm und der vom Wasser benetzte Grabenumfang 3 m beträgt. Der Graben habe dabei auf 2400 Meter Länge einen Meter Gefälle.

Auflösung. Es ist:

$A = 0{,}5$ qm

$P = 3$ m

$h = 1$ m

$l = 2400$ m

also:

$$v = 57 \sqrt{\frac{A\,.\,h}{l\,.\,P}}$$

$$= 57 \sqrt{\frac{{}^1\!/_2\,.\,1}{3\,.\,2400}}$$

$$= 57 \sqrt{\frac{1}{14400}} = \frac{57}{120} = 0{,}475 \text{ m.}$$

Der Graben ist demnach schon in Kies herzustellen, damit seine Wandungen nicht angegriffen werden.

Die Wassermenge Q, welche der Graben pro Minute abzuführen im Stande ist, fällt offenbar gleich dem Producte aus seiner Querschnittsfläche mal der Geschwindigkeit des Wassers pro Sekunde mal der Zeitdauer der Bewegung in Sekunden aus, sie ergiebt sich im vorliegenden Falle daher zu

$$Q = 60\,.\,0{,}475\,.\,0{,}5 = 14{,}25 \text{ cbm.}$$

Vorrichtungen zum Heben von Wasser. Die Arbeit, welche zum Heben einer Wassermenge erforderlich ist, wird aus dem Gewichte des Wassers und aus der Höhe, auf welche es gebracht werden muß, ermittelt. Sie ist stets noch um einen gewissen Procentsatz zu erhöhen, weil alle Hebevorrichtungen einen Theil der Kraft zu ihrer eigenen Bewegung gebrauchen. Ohne diesen Mehraufwand an Kraft, welcher für verschiedene Hebevorrichtungen ein anderer ist, berechnet sich die zum Heben von Wasser, z. B. zum Ausschöpfen einer Baugrube, aufzuwendende Kraft wie folgt:

Hat die Baugrube 4 m Länge, 2 m Breite und 3 m Tiefe und ist sie 2 m hoch mit Wasser angefüllt, welches bei dem Ausschöpfen in eine Rinne gehoben werden muß, die einen Meter über der Terrainoberfläche liegt, so beträgt die Hubhöhe des Wassers bei dem Beginne der Arbeit 2 m und gegen Ende der Arbeit 4 m, also im Durchschnitt 3 m. Das zu hebende Wasserquantum beträgt $= 4\,.\,2\,.\,2 = 16$ cbm mit einem Gewichte von 16000 kg und ergiebt, mit der mittleren Hubhöhe $= 3$ m multiplicirt, eine Leistung von 48000 mkg.

Wird angenommen, daß bei der Hebevorrichtung 25 % der auf sie übertragenen Arbeit durch Reibung ꝛc. verloren gehen, daß also nur 75 % der betreffenden Arbeitsleistung zum Heben des Wassers nutzbar gemacht werden, so muß der Motor — Dampfmaschine, Windmühle, Pferd, Arbeiter — eine Arbeit von

$$^4/_3 \,.\, 48\,000 = 64\,000 \text{ mkg}$$ leisten.

Soll das Ausschöpfen der Baugrube durch ein am Göpel arbeitendes Pferd bewirkt werden, so sind zur Entleerung derselben

$$= \frac{64000}{40} = 1600 \text{ Sekunden}$$

oder 26 Minuten und 26 Sekunden nöthig, da die Leistung eines Pferdes am Göpel zu 40 mkg pro Sekunde angenommen werden kann.

Wollte man die Grube durch Arbeiter mit Eimern ausschöpfen lassen und die Eimer durch Winden heben, welche durch 2 Mann bedient werden, so ergiebt sich die dazu erforderliche Zeit, da ein Mann an der Kurbel etwa 8 mkg pro Sek. leistet, zu

$$\frac{64000}{2 \,.\, 8} = 4000 \text{ Sek.}$$

oder zu 1 St. 6 Min. 40 Sek.

Fällt die Arbeitsleistung so erheblich aus, daß sie durch ein Pferd oder zwei Arbeiter in täglich 8 Stunden nicht bewältigt werden kann, so sind mehr als zwei Arbeiter oder ein Pferd einzustellen, weil die oben angegebenen Leistungen nur bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden zutreffen. Diese Beschränkung fällt natürlich fort, sobald elementare an Stelle der animalischen Kräfte treten, sobald also beispielsweise eine Dampfmaschine benutzt wird.

Handelt es sich darum, das einer Baugrube zufließende Wasser continuirlich zu entfernen, so ergiebt sich die Arbeitsleistung aus dem Gewichte Q des pro Sekunde zufließenden Wassers mal der Höhe h, bis auf welche es zu heben ist, zu

$$Q \,.\, h \text{ mkg pro Sek.}$$

also z. B. für $Q = 5$ kg und $h = 1{,}5$ m zu

$$5 \,.\, 1{,}5 = 7{,}5 \text{ mkg.}$$

Die Baugrube kann also durch einen Arbeiter, welcher allerdings von Zeit zu Zeit abzulösen ist, wasserfrei gehalten werden.

Wird täglich in einer solchen Baugrube von Morgens 6 Uhr bis Abends 7 Uhr gearbeitet, so fließen während der 11 Nachtstunden 11 . 60 . 60 . 5 = 198000 kg Wasser zu. Um dieses

Wasser von Morgens 4 bis 6 Uhr, also in 2 . 60 . 60 = 7200 Sekunden zu entfernen, sind

$$\frac{198000}{7200 \cdot 8} = 3 \text{ bis } 4 \text{ Arbeiter}$$

erforderlich, wenn die Leistung eines Arbeiters wieder zu 8 mkg pro Sek. angenommen wird.

Am einfachsten wird Wasser auf geringe Höhen — etwa auf 3 bis 4 m — durch directes Heben gebracht. Der am Wasser stehende Arbeiter schöpft das Wasser mit Eimern, welche etwa 10 Liter fassen, aus und reicht es einem ungefähr 1,25 m höher stehenden Arbeiter zu, von dem es nöthigenfalls einem dritten Arbeiter und so fort übergeben wird. Wird der Eimer an einem langen Stiele befestigt, so kann das Schöpfen auf die gleiche Höhe auch durch nur einen Arbeiter leicht bewirkt werden.

Bei den bekannten Ziehbrunnen ist die Stange mit dem Eimer an dem längeren Arme eines doppelarmigen Hebels befestigt, dessen kürzerer Arm soweit beschwert wird, bis das Niederdrücken des leeren Eimers dieselbe Kraft erfordert, wie das Emporziehen des gefüllten Eimers.

Bei größerer Tiefe des Wasserspiegels hängt der Eimer passend an einem Seile, welches über eine feste Rolle oder über die Trommel einer Winde (eines Haspels) geschlungen ist. Für die Förderhöhen bis nicht über einen Meter kann oft mit Nutzen von der sogenannten Wurfschaufel Gebrauch gemacht werden. Dieses, in geringeren Abmessungen zum Ausschöpfen von Kähnen vielfach gebrauchte Instrument faßt etwa 20 Liter Wasser und schwingt an einem Seile Hinten ist die Wurfschaufel mit einem $1^1/_2$ bis 2 m langen Stiele versehen, mit welchem der Arbeiter die Schaufel in das Wasser stößt und das geschöpfte Wasser, indem er gleichzeitig den Stiel etwas niederdrückt, 1 m hoch und 2 m weit fortschleudert. Werden vorn an dem Schöpfgefäße Seile befestigt, an welchem Arbeiter ziehen, sobald der an dem in diesem Falle längeren Stiele angestellte Arbeiter die Schaufel in das Wasser stößt, so können ihr Fassungsraum und ihre Leistungen erheblich vergrößert werden.

Weniger einfach und für vorläufige Anlagen bei dem Bau der Eisenbahnen wie für dauernde Eisenbahnzwecke wenig geeignet sind Wurfräder und Schöpfräder. Ein Wurfrad entsteht, wenn man ein gewöhnliches, unterschlächtiges Wasserrad in gegen die übliche umgekehrter Richtung dreht. Die Schaufeln nehmen dann einen Theil des Unterwassers zwischen sich auf und drücken es dem Gerinne entlang in die Höhe. Das Schöpfrad ist ein oberschlächtiges Wasserrad mit ebenfalls umgekehrter Bewegung. Die Wasserkasten füllen sich dabei in dem Unterwasser und entleeren sich oberhalb der Mitte des Rades durch Oeffnungen, welche in dem inneren Radkranze angebracht sind.

Das chinesische Schöpfrad bildet eine Abänderung des vorigen. Das Wasserrad mit geraden Schaufeln wird unten in fließendes Wasser eingetaucht und durch dieses gedreht. Dabei füllen sich am dem Radkranze befestigte Gefäße und gießen ihr Wasser oben in eine seitlich angebrachte Rinne aus.

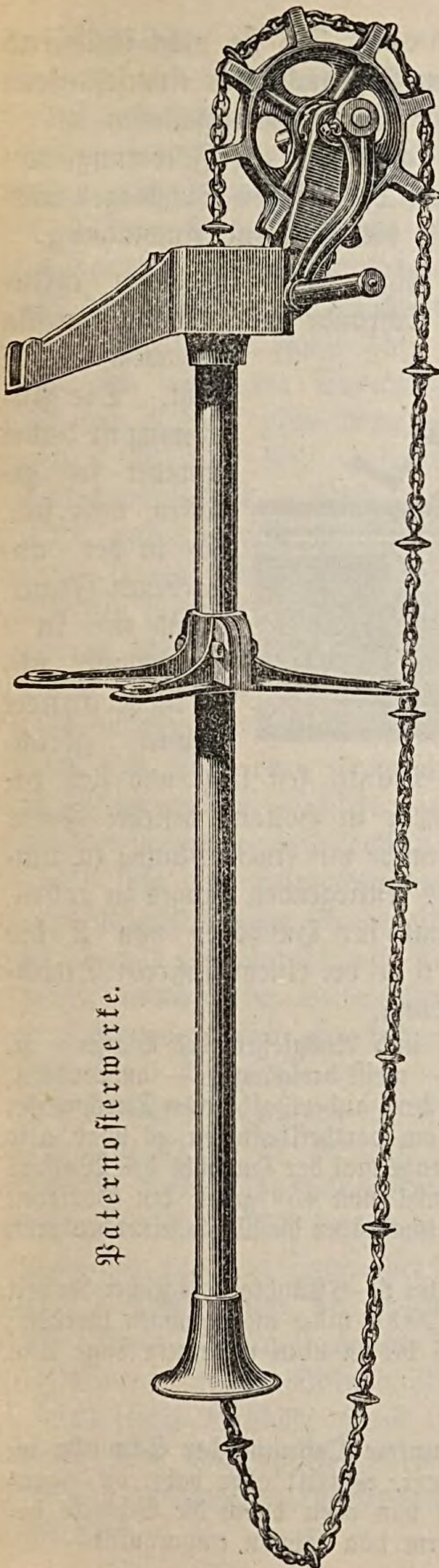


Fig. 240.

Paternosterwerke.

Einfacher als die vorigen, und daher bei dem Bau von Bahnen gebräuchlicher, sind Paternosterwerke und besonders Wasserschrauben.

Bei dem **Paternosterwerke** führt eine Kette mit an ihr befestigten Scheiben über zwei entsprechend geformte Räder, von welchen das untere im Wasser und das andere oberhalb des Gerinnes für das abfließende Wasser liegt. Die Scheiben bewegen sich aufwärts in einem verticalen Rohre, welches unten in das Wasser eintaucht, und nehmen dabei das zwischen den Schaufeln eingeschlossene Wasser mit nach oben. Statt der verticalen Anordnung ist auch eine geneigte Montirung des Paternosterwerkes beliebt. Die Menge des geförderten Wassers ist der Querschnittsfläche einer Schaufel mal ihrer Geschwindigkeit gleich, nachdem von diesem Producte ein sich nach der Genauigkeit der Ausführung des Paternosterwerkes richtender Procentsatz in Abzug gebracht ist.

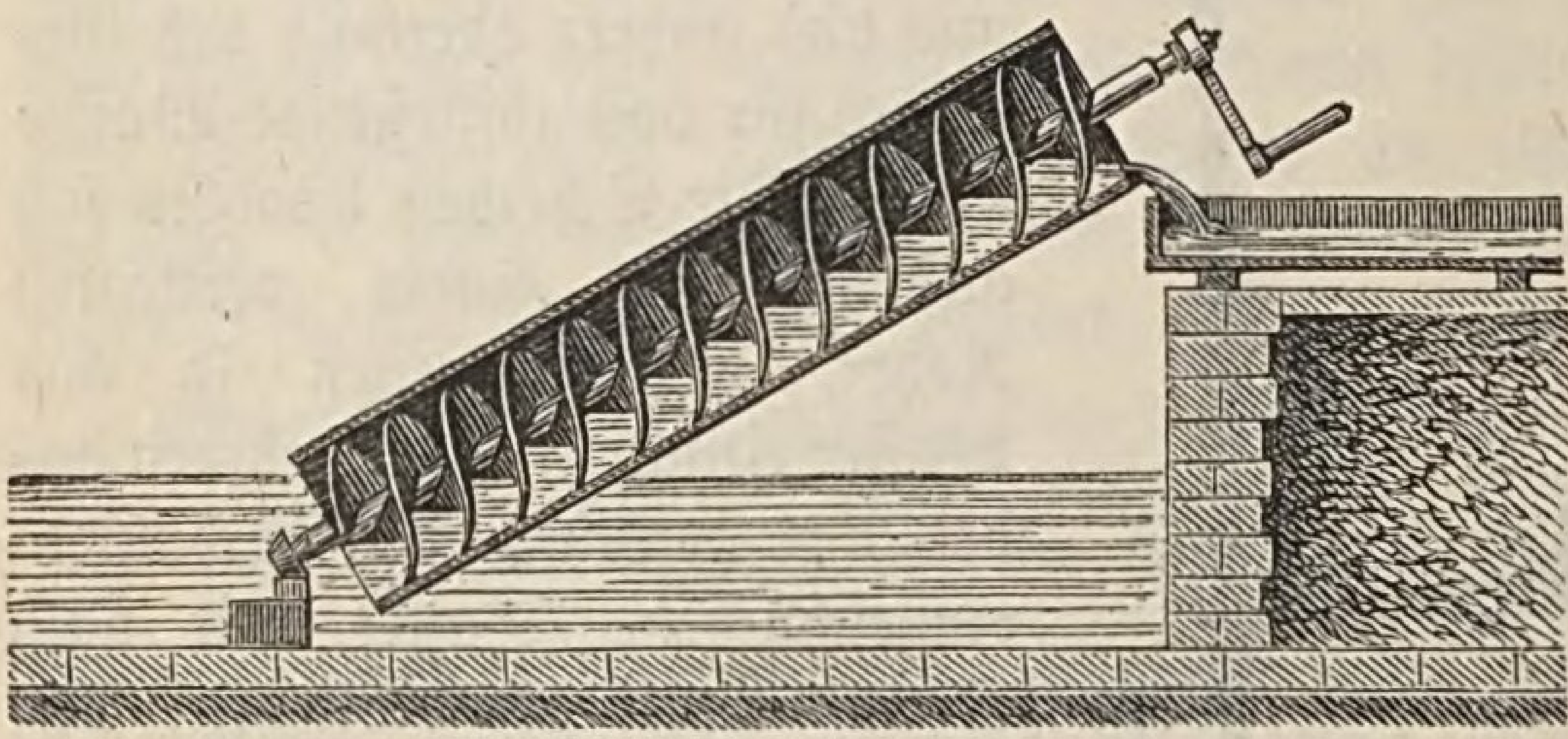
Die constructive Anordnung des Paternosterwerkes ist aus der Fig. 240 zu ersehen. Durch Erweiterung des unteren Theiles des Rohres wurde es möglich, das untere Führungsrad für die Kette fortzulassen. Der Antrieb der oberen Scheibe erfolgt mit Hülfe einer Handkurbel. Bei der dargestellten Construction haben die

Metallteller einen Durchmesser von 5 cm. Da sie nicht schließend in das Rohr passen, so läuft nach dem Gebrauche das eingeschlossene Wasser ab, wodurch ein Einfrieren der Pumpe ausgeschlossen ist.

Das Paternosterwerk eignet sich auch gut zur Förderung von schlammigem Wasser, Theer und anderen dickflüssigen Substanzen und kommt zumeist für Förderhöhen von 3 bis 5 m zur Anwendung.

Wasserschraube. Sie besteht, Fig. 241, in einem cylindrischen Mantel, in welchem sich eine Schraube mit verhältnißmäßig schwachem Kerne dreht. Die Anordnung ist dabei entweder so getroffen, daß sich, wie in der angegebenen Figur, und wie in Deutschland üblich ist, der äußere Mantel gleichzeitig mit der Schnecke, oder daß der Mantel fest liegt und sich die Schnecke allein dreht. Die letztere, mehr in Holland beliebte Form gestattet nur, die untere Hälfte der Schraube mit einem Mantel zu umkleiden, dem Mantel also die Form eines festliegenden Troges zu geben.

Fig. 241.



Die deutsche Wasserschraube kommt für Hubhöhen von 2 bis 2,5 m und in einer Länge von 3 bis 6 m bei einem äußeren Durchmesser von 0,5 bis 1 m zur Anwendung.

Um ein gleichmäßigeres Einnehmen und Ausgießen des Wassers zu erzielen, wird die Schraube mehrgängig — meist dreigängig — angeordnet, wobei ihre Steigung gleich dem ein- oder dem anderthalbfachen Durchmesser des Mantels ist. Die Schraube arbeitet am vortheilhaftesten, es wird also das Product aus der geschöpften Wassermenge mal der Hubhöhe des Wassers am größten, sobald sie unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont geneigt liegt. Der Mantel soll dabei bis etwas über die Mitte seiner unteren Oeffnung in das Wasser eintauchen.*)

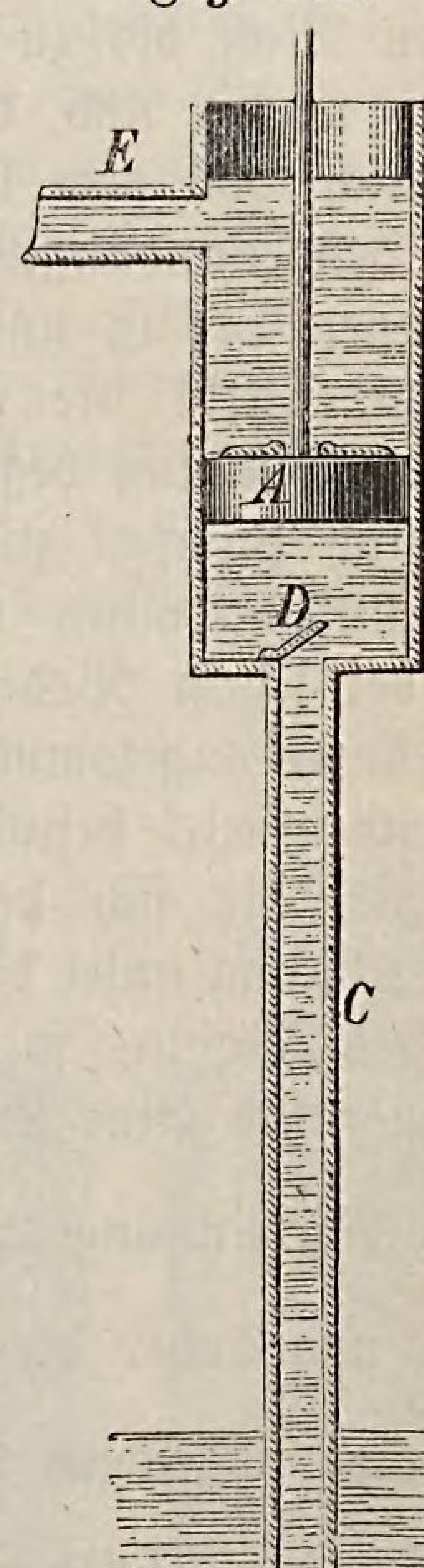
Die Nutzleistung eines Mannes darf bei 6—8stündiger täglicher Arbeit an der Wasserschraube zu 90000 bis 120000 mkg angenommen werden; ein Mann ist also im Stande, mit ihr 45 bis 60 cbm an einem Tage 2 m hoch zu heben.

---

*) Anmerkung. Liegt die ganze untere Oeffnung der Schraube im Wasser, so wird auch noch Wasser gefördert, es tritt aber dabei die eigenthümliche Erscheinung ein, daß sich Luft von oben durch die Schnecke bebewegt, die dann aus dem Wasser in Form von Blasen emporquillt.

Pumpen. Wird der in das cylindrische Rohr B (Pumpenstiefel) der Fig. 242 genau passende Kolben A aufwärts bewegt und befindet sich unter ihm und in dem engeren Ansatzrohre C kein Wasser, sondern Luft, so entsteht unter dem Kolben eine Luftverdünnung. In Folge dieser öffnet sich das Ventil D und nimmt auch die Spannung der Luft in dem Rohre C ab, es wird also das Gleichgewicht des Luftdruckes auf das Wasser innerhalb und außerhalb des Rohres C aufgehoben, was ein Ansteigen des Wassers in dem Rohre C zur Folge hat. Dieses Ansteigen erfolgt bis zu der Höhe, für welche die Spannung der Luft innerhalb des Rohres plus dem Gewichte des angesogenen Wassers dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Wird jetzt der Kolben A wieder niedergedrückt, so schließt sich die Ventilklappe D, es wird also in den Spannungsverhältnissen innerhalb des Rohres C nichts geändert, während die in dem weiten Rohre B unter dem Kolben befindliche Luft zusammengedrückt wird, die Ventilklappen des Kolbens in Folge dessen öffnet und nach oben entweicht. Sobald das Kolbenspiel wieder wechselt, verdünnt sich abermals die Luft unter dem Kolben A und die Klappe D hebt sich, eine Luftverdünnung wird aber jetzt in einem weit höheren Grade als vorher eintreten, weil bereits verdünnte Luft sich ausdehnt. Es erfolgt demnach eine weitergehende Verminderung des Luftdruckes und ein höheres Ansteigen des Wassers im Rohre C.

Fig. 242.



Bei dem Niedergange des Kolbens schließt sich wieder die Klappe D, die Luft unter dem Kolben entweicht durch die Kolbenventile. Diese Vorgänge wiederholen sich bei jedem Kolbenspiele, bis das Wasser aus dem Saugrohre C in den Pumpenstiefel B gelangt und der in der Fig. 242 angedeutete Zustand eintritt. Von jetzt an gelangt bei dem Aufgange des Kolbens eine Wassermenge in den Cylinder B, welche dem Querschnitte des Kolbens A mal seiner Hubhöhe gleich ist, während eine gleich große Menge bereits von dem vorigen Niedergange her durch die Kolbenklappen über ihn gedrungenes Wasser gehoben wird und durch den Ausguß E abfließt.

Damit der Vorgang bei dem Ansaugen und Heben des Wassers wirklich in der geschilderten Weise zutrifft, sind mehrere Bedingungen zu erfüllen. Die Ventilklappen müssen luftdicht schließen und der Kolben muß sich luftdicht in dem Pumpenstiefel bewegen, ferner darf die Höhe des anzusaugenden Wassers, also die Länge der Röhre C ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

Bezüglich des letzten Punktes ist bekannt, daß Wasser in einem luftleeren Rohre nur bis zu einer Höhe von 10,24 m emporsteigt. Durch die Kolbenbewegung ist aber in dem Rohre C niemals eine völlige Luftleere, sondern nur eine Luftverdünnung zu erzielen, deren Maß bis zu einer gewissen Grenze mit der Zahl der Kolbenhübe wächst und die sehr wesentlich von der zweiten Bedingung, nämlich von dem luftdichten Schlusse der Ventile und des Kolbens mit den Wandungen des Pumpenstiefels, abhängt. Aber selbst diesen genauen Schluß und eine sehr große Zahl von Kolbenhüben vorausgesetzt, bleibt die obige Behauptung bestehen, daß das Maß der Luftverdünnung begrenzt sei. Es ist nämlich in der Praxis nicht möglich Pumpen zu construiren, bei welchen nicht unter dem niedergedrückten Kolben noch ein sog. „todter Raum" verbliebe. Dieser ist bei jedem Niedergange des Kolbens, sobald er in seiner unteren Stellung angekommen ist und so lange sich noch kein Wasser in dem Pumpenstiefel befindet, mit Luft von atmosphärischer Spannung angefüllt, die sich bei dem Kolbenhube mit ausdehnt. Beträgt der todte Raum unter dem Kolben v cbm und das Volumen des Pumpenstiefels V cbm, so wird, selbst wenn durch das Ventil D aus dem Saugrohre keine Luft nachdringt, bei vollständig gehobenem Kolben eine Verdünnung nur bis zu $\frac{v}{V}$ des ursprünglichen Luftdruckes erfolgen und daher die Maximalhöhe, bis zu welcher Wasser durch die Pumpe angesogen werden kann, um $\frac{v}{V} \cdot 10,24$ m hinter der für vollständige Luftleere möglichen zurückbleiben.

Aufgabe. Es soll ermittelt werden, bis zu welcher Höhe eine Pumpe Wasser anzusaugen im Stande ist, bei welcher die Ventile und der Kolben absolut dicht schließen, wenn der zwischen Saugventil und dem Kolben verbleibende todte Raum in der tiefsten Stellung des letzteren $^1/_5$ von dem gleichen Raume bei der höchsten Stellung des Kolbens einnimmt.

Auflösung. Verbliebe unter dem Kolben gar kein todter Raum, so würde die eben noch mögliche Saughöhe des Wassers 10,24 m betragen. Diese Saughöhe vermindert sich, da $V = 5\,v$ sein soll, um

$$\frac{v}{V} \cdot 10,24 = {}^1/_5 . 10,24 = 2,05 \text{ m oder auf } 7,19 \text{ m.}$$

Es giebt ein einfaches Mittel, den todten Raum unter dem Kolben unschädlich zu machen. Gießt man nämlich Wasser in den Pumpenstiefel B der Fig. 242, so gelangt dasselbe bei dem Niedergange des Kolbens durch dessen Ventilklappen über das Ventil D und füllt den todten Raum des Cylinders aus. Bei dem Aufgange des Kolbens ist, außer im Saugrohre C, keine Luft mehr unter dem Kolben vorhanden, welche expandiren könnte, es wird daher bei jedem späteren Kolbenhube Luft aus dem Saugrohre C gesogen, sobald man nur durch Nachgießen dafür sorgt, daß stets genügend Wasser unter dem Kolben A vorhanden ist.

Das angegebene Mittel gewährt noch den weiteren Vortheil, daß es etwaige Undichtigkeiten des Kolbens in dem Pumpenstiefel und der Ventilklappen auf ihren Ventilsitzen weniger schädlich macht, weil Wasser durch undichte Stellen weniger dringt als die weit dünnere Luft.

Die Unbequemlichkeit des Eingießens von Wasser in den Pumpenstiefel läßt einen Apparat, insbesondere für Anlagen mit großen Saughöhen, als zweckmäßig erscheinen, welcher in die Saugrohrleitung eingeschaltet wird. Fig. 243 und 244, Durchschnitt und Ansicht.

Fig. 243.

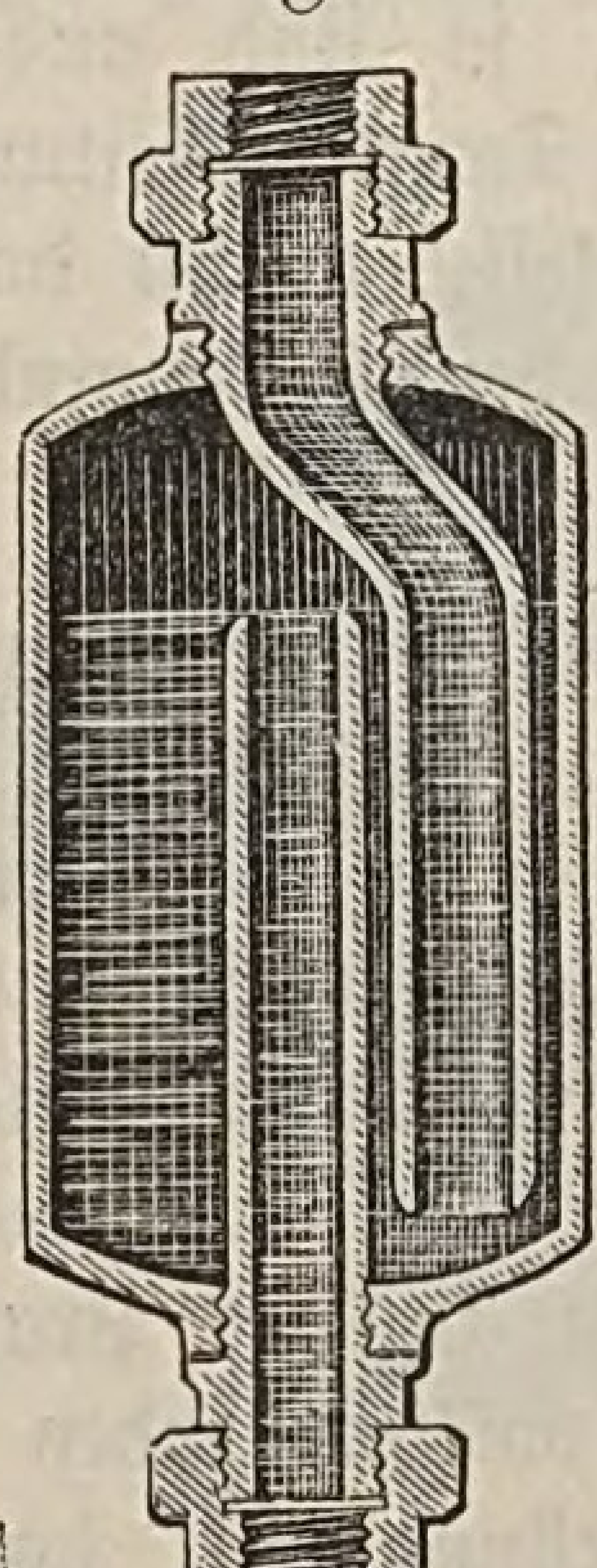
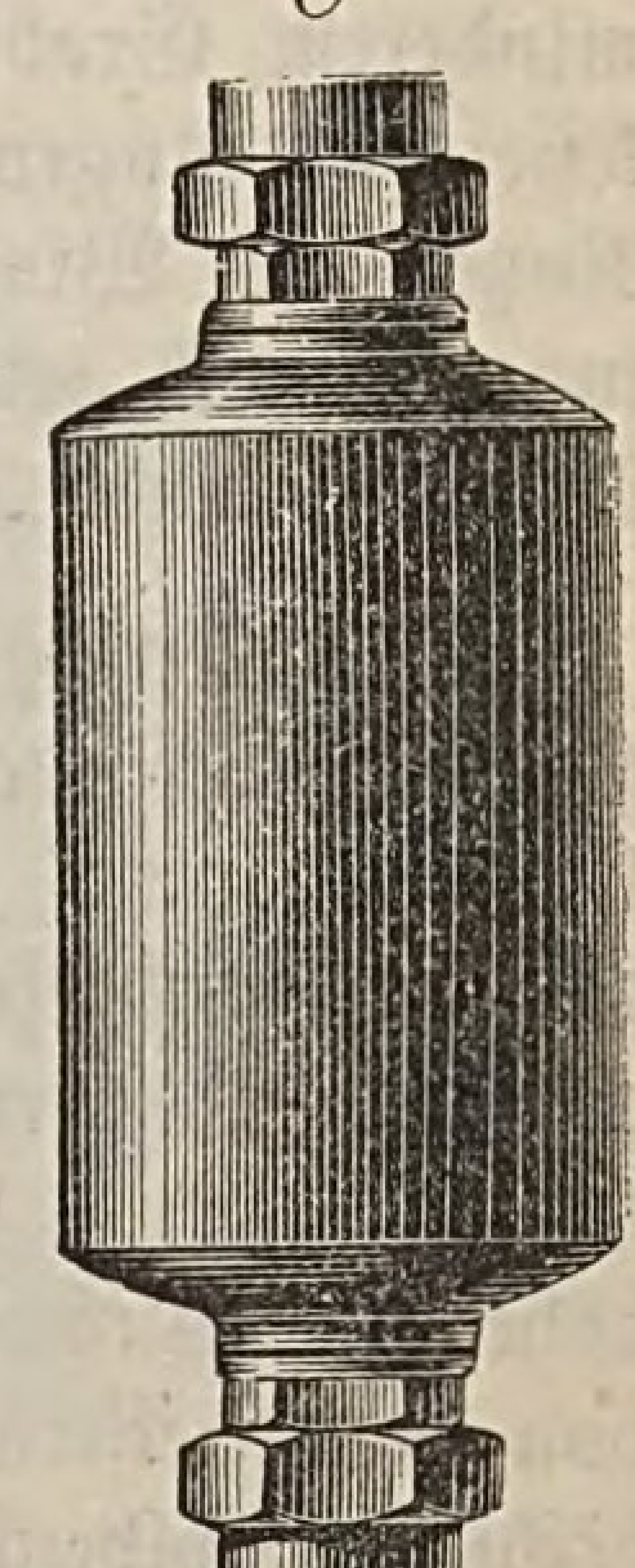


Fig. 244.



Dieser sogen. **Ansauger** besteht aus einem Behälter, welcher theilweise mit Wasser angefüllt ist. Das nach dem Pumpenstiefel leitende Rohr C führt dicht bis über den Boden des Gefäßes, während das zweite, nach dem Brunnen leitende Rohr C′ bis etwa zu $^2/_3$ seiner Höhe in den Ansauger hineinragt. Hält der Apparat gut dicht, so bleibt das Rohr C′ auch nach dem Abstellen der Pumpe mit Wasser gefüllt. Bei dem Anheben des Pumpenkolbens füllt sich der Pumpenstiefel sofort mit Wasser aus dem möglichst dicht unter ihm angebrachten Ansauger, welches in letzterem sofort durch das Rohr C′ ersetzt wird. Durch den Apparat wird also die bei bedeutenden Saughöhen sonst nothwendig werdende allmähliche Verdünnung der Luft in der Saugrohrleitung vermieden.

Der Ansauger dient zugleich als Windkessel für die Saugrohrleitung. Bei jedem Anhube des Kolbens geräth nämlich die ganze in der Saugrohrleitung befindliche Wassermenge in Bewegung, während sie bei dem Niedergange des Kolbens wieder zur Ruhe kommt. Diese Bewegungsänderungen sind aber mit Kraftverlusten, (Stößen) verbunden, welche durch den Windkessel gemindert werden. Wird der Kolben einer mit dem Ansauger der Fig. 243 nnd 244 versehenen Pumpe niedergedrückt, so bringt das von dem letzten Kolbenhube her noch in Bewegung befindliche Wasser aus dem Rohre C′ in den Ansauger und preßt die in diesem befindliche Luft zusammen. Das Wasser verliert dabei einen Theil seiner Geschwindigkeit nur allmählich, es tritt kein Stoß ein und braucht bei dem später folgenden Kolbenhube nur die verloren gegangene Geschwindigkeit ersetzt zu werden. Die erhöhte Pressung der Luft in dem Ansauger gewährt dabei noch den Vortheil, daß sie die Aufwärtsbewegung des in ihm und in dem Rohre C befindlichen Wassers unterstützt.

Dieser Vortheil ist so bedeutend, daß Windkessel dort, wo die beschriebenen Ansauger nicht vorhanden sind, für alle größeren Pumpenanlagen zur Anwendung gebracht werden, sobald die Längen der Saugrohrleitungen einigermaßen erheblich sind. Wenn auch in minderem Grade, so sind aus den gleichen Gründen auch Windkessel für längere Druckrohrleitungen zu empfehlen und üblich. Der Nutzen der Windkessel wächst dabei, außer mit den Längen der Leitungen, noch mit den Geschwindigkeiten der Bewegung des Wassers in den Rohren.

Die Saughöhe von Pumpen richtet sich, wie bereits erörtert wurde, nach dem Verhältnisse des bei der tiefsten Stellung des Kolbens unter ihm verbleibenden todten Raumes zu dem Volumen des Pumpenstiefels. Sie wird ferner durch die in der Praxis kaum gänzlich zu vermeidenden Undichtigkeiten der Kolben und Ventile herabgedrückt. Man nimmt aus diesen Gründen die Maximalsaughöhe der Pumpen in der Praxis nicht gern höher als zu 8,5 m von dem tiefsten vorkommenden Wasserstande (im Brunnen) bis zur höchsten Kolbenstellung an, damit die Pumpe auch bei trockenen Jahreszeiten noch Wasser unzusaugen im Stande bleibt. Ein vollkommenes Dichthalten der Saugrohrleitung ist dabei unbedingtes Erforderniß. Liegt die Saugrohrleitung geneigt, so wird nothwendig, daß die Rohre bis zur Pumpe überall ansteigen, weil

sich sonst in ihren oberen Knickungen Luft ansammelt, welche den Rohrquerschnitt verengt.

Häufig bringt man, außer dem Klappenventile D der Fig. 242, noch ein zweites Ventil „Fußventil" am Fuße des Saugrohres C' an, das den Zweck hat, die in dem Rohre befindliche Wassersäule bei dem Abstellen der Pumpe an dem Zurücksinken besser zu verhindern, als das Ventil D dieses vermag. Kommen Ansauger zur Anwendung, so sind solche Fußventile weniger nothwendig.

Um Steine, Holztheile oder dergl. abzuhalten, welche die Saugrohre verstopfen und sich zwischen die Ventile klemmen, wird das Saugrohr unten durch einen Saugkorb geschlossen, der in seiner einfachsten Form aus einem aus Weidenruthen geflochtenen Gefäße besteht, in dessen Oeffnung das Saugrohr geschoben und mit dem es befestigt wird. Der Korb muß so groß sein, daß die Durchgangsöffnungen zwischen den Weidenruthen mindestens dem einfachen, besser dem mehrfachen Querschnitte des Saugrohrs gleichkommen.

Fig. 245 stellt einen Saugkorb aus Metall dar, der sich zur Anbringung an Gummischläuchen eignet, aus welchen die Saugrohrleitung häufig hergestellt wird.

Fig. 246 zeigt einen Saugkorb mit Fußventil in der Ansicht und Fig. 247 dieselbe Construction im Durchschnitte.

Fig. 245.

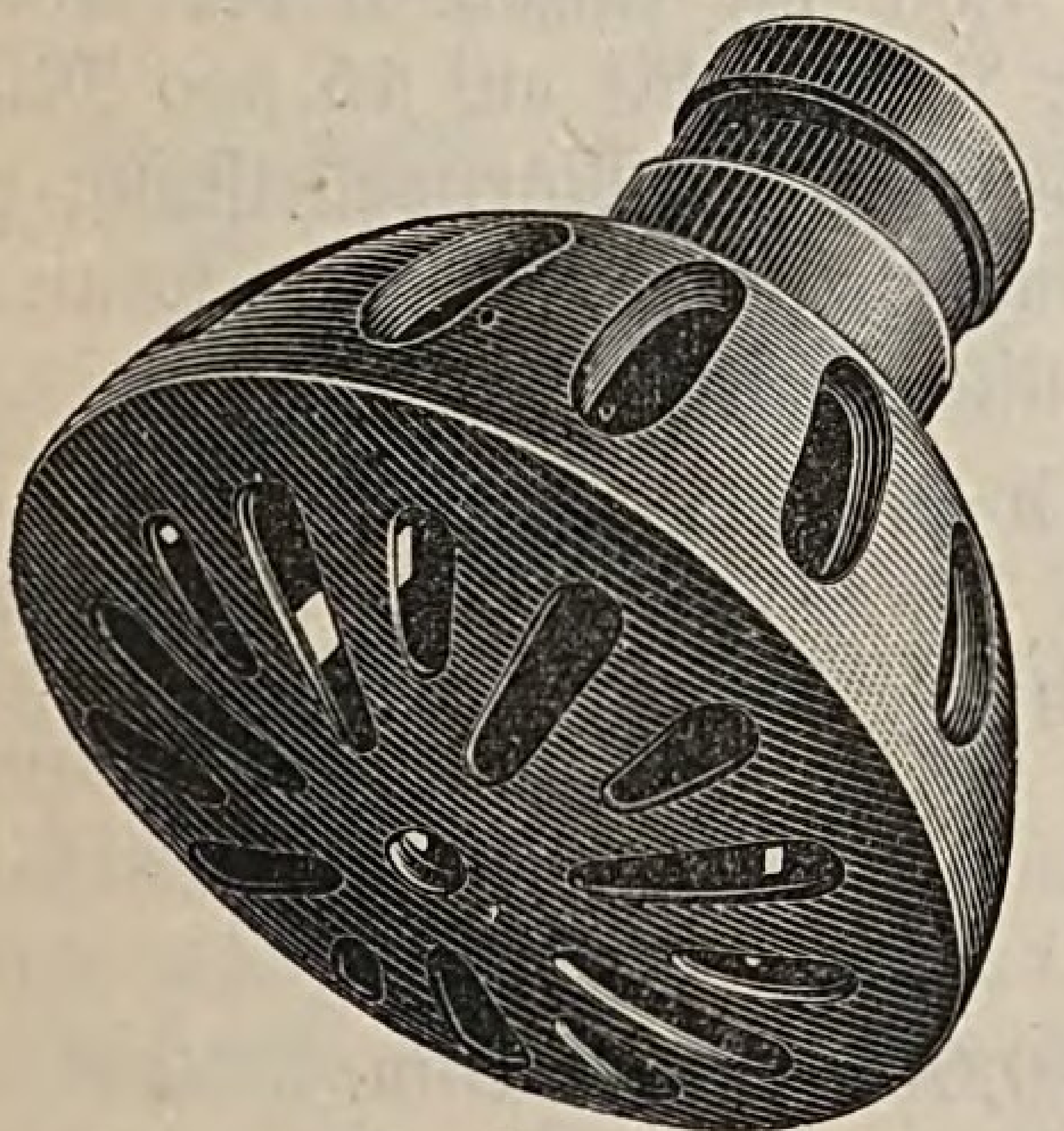
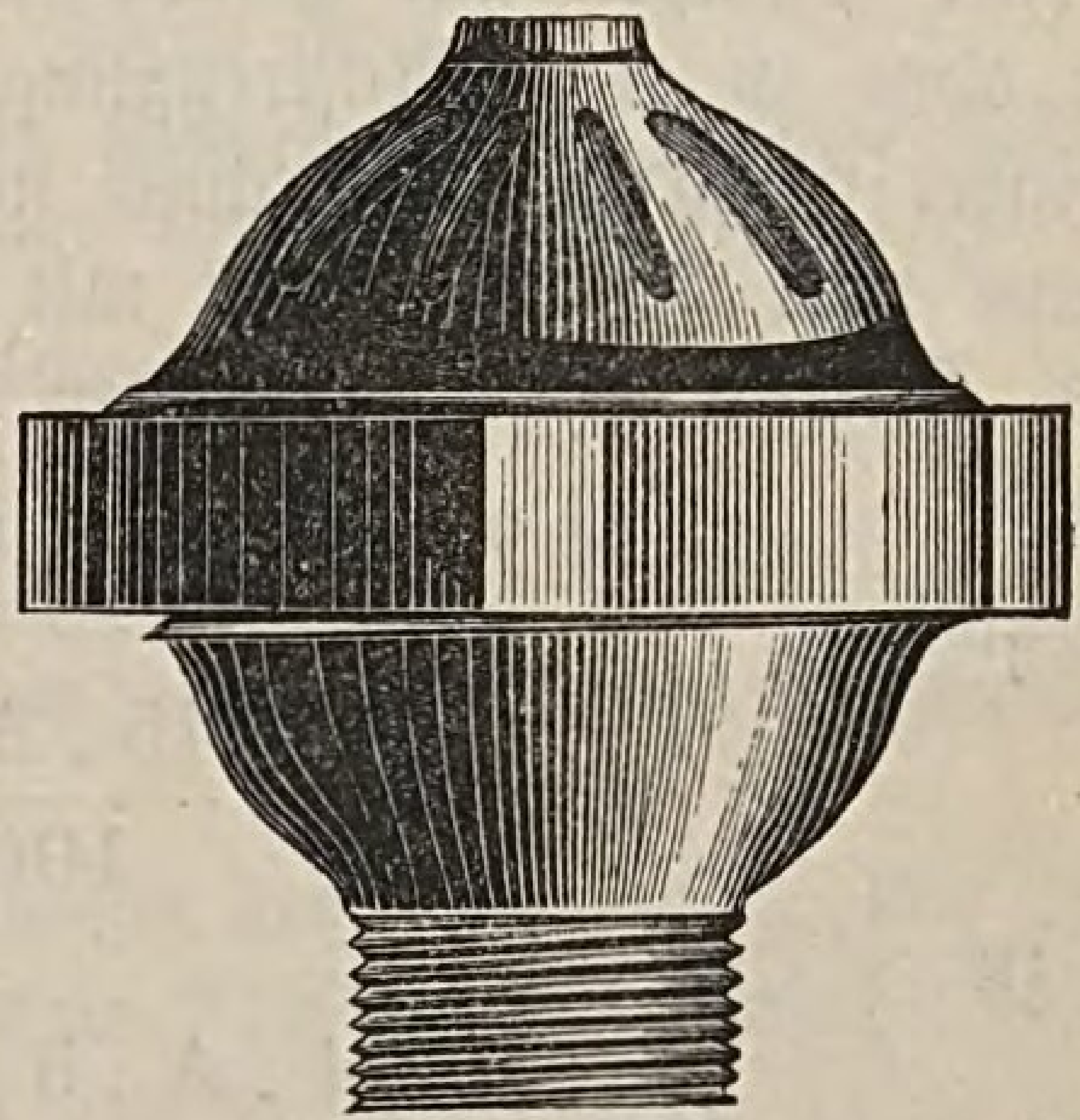


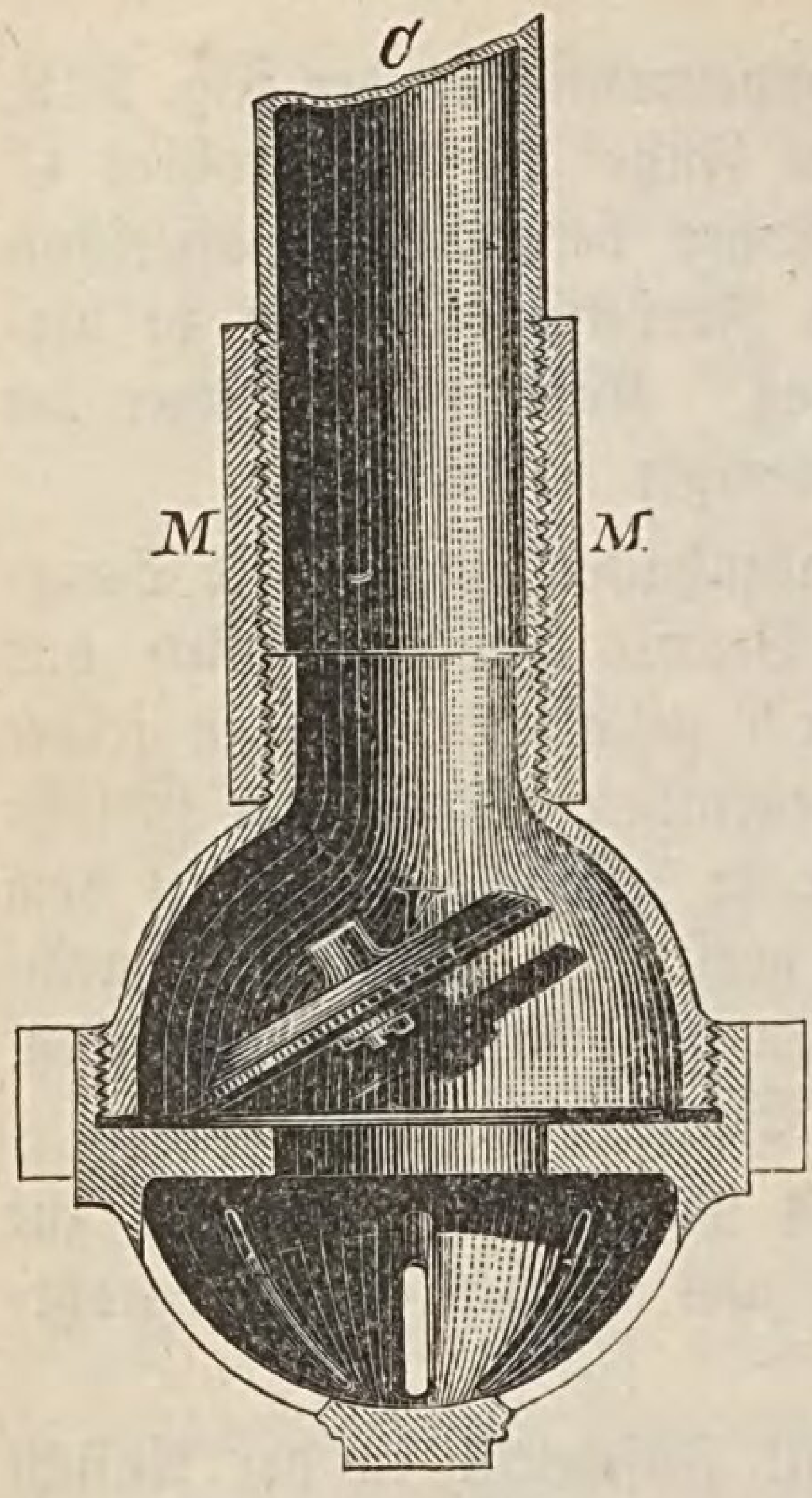
Fig. 246.



Saugkörbe.

In Fig. 247 ist die Verbindung mit dem schmiedeisernen Saugrohre C durch die Muffe M angegeben. Das Ventil V besteht aus einer durch eine Metallplatte beschwerten Lederklappe.

Fig. 247.



Saugkorb mit Ventil.

Die Leistungsfähigkeit von Pumpen der Anordnung nach Skizze 242 berechnet sich aus dem Querschnitte A und aus der Hubhöhe h des Kolbens für jeden Kolbenhub zu A . h ccm Wasser, wenn A in qcm und h in cm angegeben ist. Macht die Pumpe n Hübe pro Minute, so ergiebt sich die pro Minute gehobene Wassermenge Q zu

$$Q = n . A . h \text{ ccm}$$

oder zu

$$Q = \frac{n . A . h}{1000} \text{ kg},$$

da 1000 ccm Wasser ein kg wiegen. Wegen unvermeidlichen Undichtigkeiten 2c. ermäßigt sich diese Wassermenge aber um durchschnittlich 10 bis 20 % bei guter Construction und Ausführung der Pumpe, und um mehr, wenn die Pumpe schlecht im Stande, wenn die Saughöhe der Pumpe erheblich und die Weite der Saugrohre nur gering ist.

Für Pumpen mit Handbetrieb kann die Anzahl n der Kolbenhübe ohne zu große Anstrengung der Arbeiter bis auf 45 pro Minute gesteigert werden, es berechnet sich demnach die Maximalleistung einer Pumpe nach der Fig. 242 mit Handbetrieb pro Minute, wenn auf 10 % Verlust wegen undichter Ventile 2c. gerechnet wird, zu

$$Q = 0{,}9 . 45 . A . h = 40 \, A h \text{ ccm}$$

oder zu

$$Q = 0{,}9 \cdot \frac{45 . A . h}{1000} = 0{,}04 \, A . h \text{ kg}$$

und zu

$$Q = \frac{0{,}04 . A . h}{1000} = 0{,}00004 \, A . h \text{ cbm}.$$

Beträgt der senkrecht gemessene Abstand des Unterwasserspiegels bis zur Ausgußöffnung der Pumpe H Meter, so ergiebt sich die pro Minute zum Heben des Wassers erforderliche Arbeit zu

$$0{,}04 . A . h . H \text{ mkg},$$

und, wenn angenommen wird, daß $1/_3$ der betreffenden Arbeit durch Reibungs= und andere Verluste verloren geht, zu

$$^3/_2 \,.\, 0{,}04 \; A \,.\, h \,.\, H \text{ mkg}$$

pro Minute und zu

$$^3/_2 \cdot \frac{0{,}04 \; A \,.\, h \,.\, H}{60} = 0{,}001 \; A \,.\, h \,.\, H \text{ mkg}$$

pro Sekunde.

Aufgabe. Es soll ermittelt werden, welche Wassermenge mit einer Pumpe von der Construction der Fig. 242 pro Stunde auf eine Höhe von 6 m gehoben werden kann, und wie viel Arbeiter dazu anzustellen sind, wenn der Durchmesser des Kolbens 8 cm, die Hubhöhe h des Kolbens 20 cm beträgt und wenn die Pumpe 40 Kolbenhübe pro Minute macht.

Auflösung. Wird der Wasserverlust zu $10^0/_0$ angenommen, so berechnet sich die pro Minute geförderte Wassermenge zu

$$Q = 0{,}9 \cdot \frac{40 \,.\, A \,.\, h}{1000} \text{ kg}$$

oder, da h = 20 cm ist und sich der Querschnitt A des Kolbens zu

$$A = 4 \,.\, 4 \,.\, 3{,}14 = 50 \text{ qcm}$$

ergiebt, zu

$$Q = 0{,}9 \cdot \frac{40 \,.\, 50 \,.\, 20}{1000} = 72 \text{ kg}$$

und die pro Stunde geförderte Wassermenge zu

$$60 \,.\, 72 = 4320 \text{ kg} = 4{,}32 \text{ cbm}.$$

Die zum Heben dieses Wassers auf 6 m Höhe erforderliche Arbeit pro Stunde berechnet sich zu

$$1000 \,.\, 4{,}32 \,.\, 6 = 25920 \text{ mkg},$$

und, wenn wegen der zu überwindenden Kolbenreibung 2c. diese Zahl auf 36000 mkg erhöht wird, die pro Sekunde aufzuwendende Arbeit zu

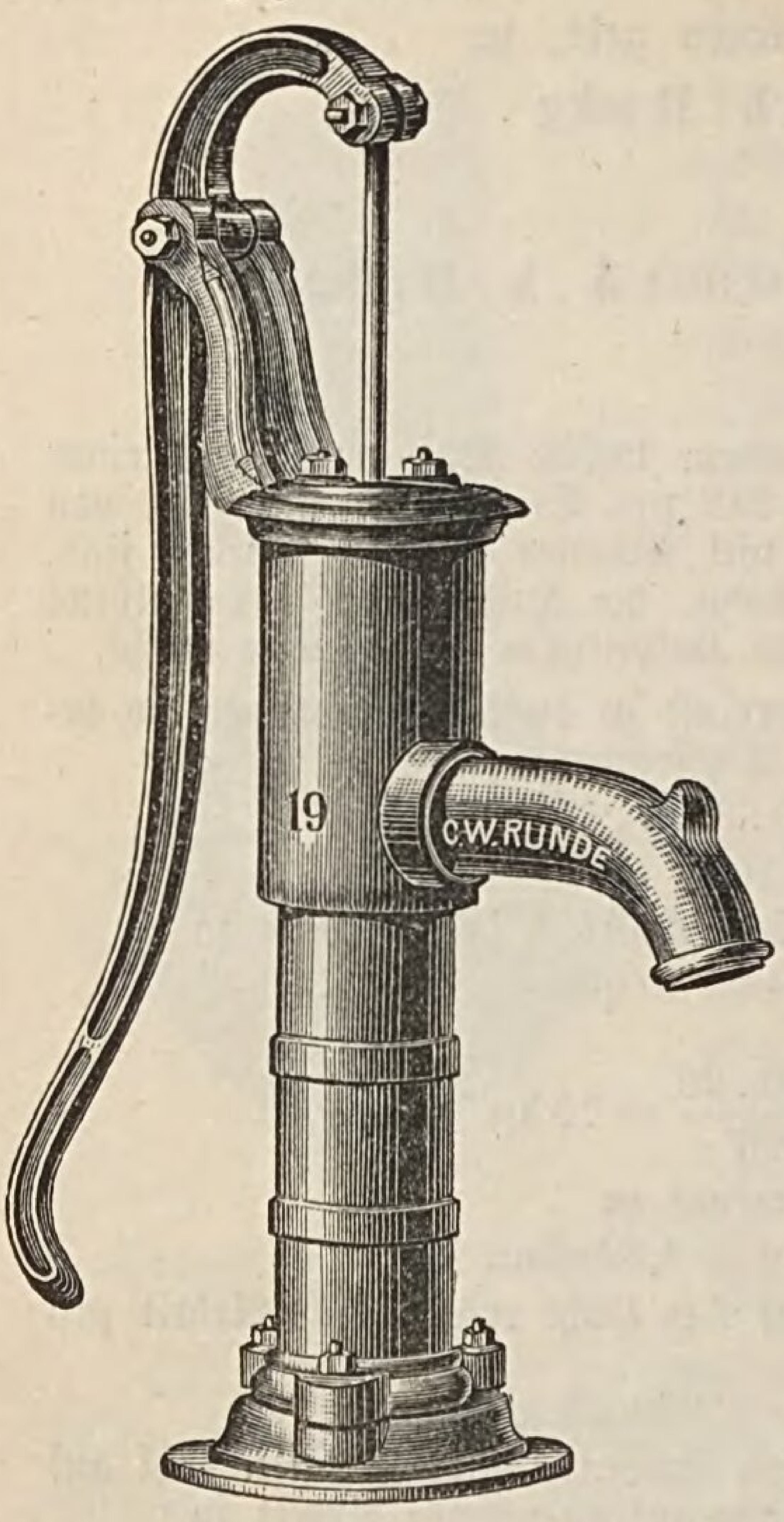
$$\frac{36000}{60 \,.\, 60} = 10 \text{ mkg}.$$

Wird die Leistung eines Arbeiters am Hebel zu 5 mkg pro Sekunde angenommen, so sind 2 Mann zum Betriebe der Pumpe erforderlich, welche, sobald die Arbeit längere Zeit andauern soll, durch einen dritten Mann abzulösen sind.

Eine zweckmäßige Pumpenconstruction der Anordnung, wie in der Skizze 242, zeigen die Fig. 248 und 249 in der Ansicht und im Durchschnitte. Die Fig. 250 stellt den Pumpenkolben in größerem Maßstabe dar. Der Pumpenstiefel B erweitert sich oben und ist nur soweit ausgebohrt, wie sich der Kolbenkörper A in ihm bewegt.

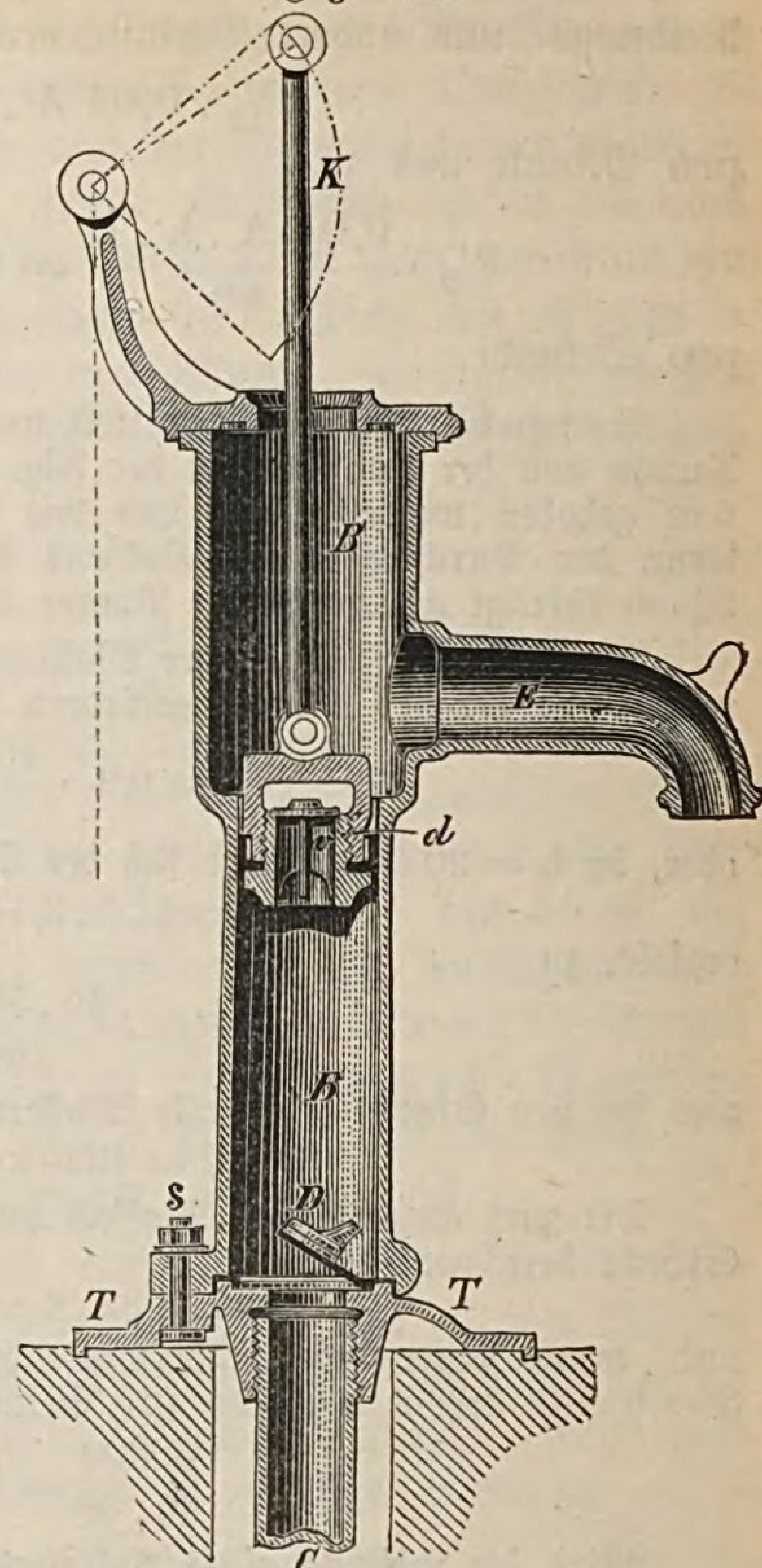
Das Saugventil wird, wie in der Fig. 247, durch eine Lederklappe gebildet, während das Kolbenventil v aus Metall construirt ist. In den Ventilteller T, der zugleich zur Befestigung der Pumpe

Fig. 248.



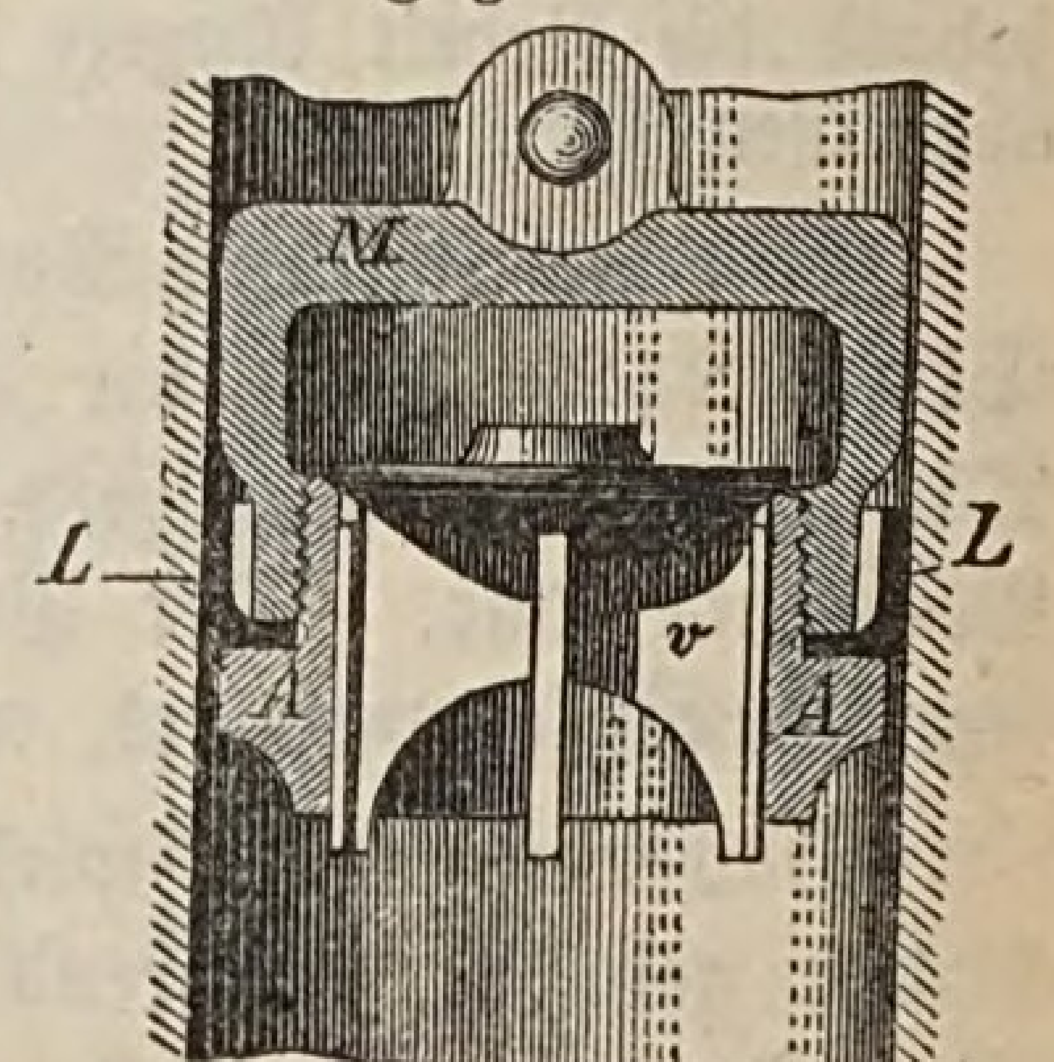
Saugpumpe.

Fig. 249.



dient, ist unten das schmiedeiserne Saugrohr C eingeschroben und oben mit ihm die Pumpe durch drei Schrauben s verbunden.

Fig. 250.



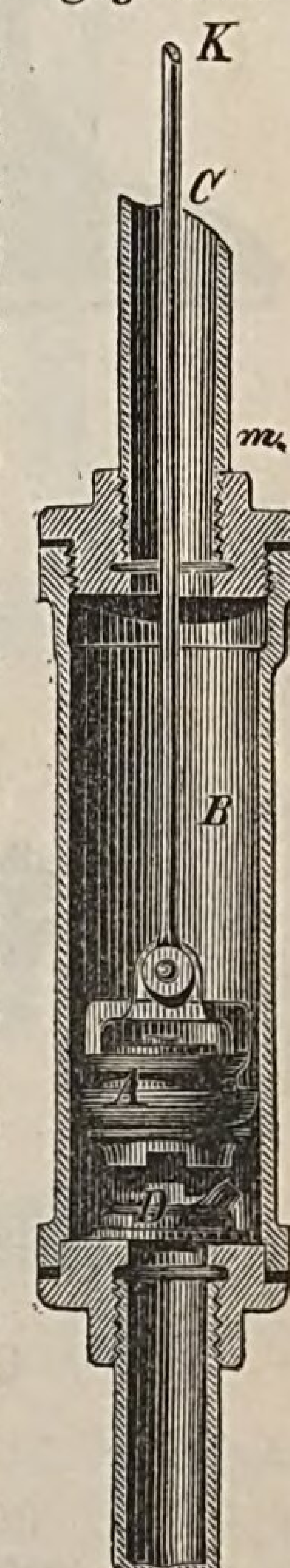
Pumpenkolben.

Der Hub des Kolbenventils v wird durch den Bügel M begrenzt, an welchem das Auge zur Befestigung der Kolbenstange K sitzt. Die Dichtung mit den Cylinderwandungen bewirkt der Lederstulp L. Um diesem Lederstulp die gewünschte Form zu geben, pflegt man das gut eingeweichte Leder mit Hülfe eines etwas kleineren

Stempels in ein entsprechend ausgehöhltes, muldenförmiges Gefäß zu pressen. Es erweisen sich gegen ein Brüchigwerden des Leders Cylinder aus Kupfer oder Messing besser als solche aus Gußeisen, sie haben dagegen den Nachtheil, daß das Wasser leicht Grünspan annimmt und dadurch, sobald es längere Zeit in dem Cylinder steht, giftig wird.

Die beschriebene Pumpe kann auch zum Heben von Wasser auf Höhen, welche das Maß von 8,5 m erheblich überschreiten, benutzt werden, indem man den Ausguß E in entsprechender Entfernung oberhalb des Pumpenstiefels anordnet. Es sind dabei zwei Wege gebräuchlich und zwar erstens der, daß man den Pumpenstiefel tiefer legt, oder daß man zweitens den Ausguß E durch ein vertical aufwärts führendes Rohr ersetzt.

Fig. 251.



Bei der erstgenannten Anordnung fällt die Ventilklappe D der Fig. 249 fort und führt die Pumpenstange K durch den Raum B und das Rohr C bis in den Arbeitscylinder B der Fig. 251, welcher so tief in die frühere Saugrohrleitung C eingeschaltet ist, daß das Ansaugen des Wassers noch möglich bleibt. Die Verbindung der Röhren C und C′ mit dem Arbeitscylinder B kann dabei entweder mit Hülfe von Flantschen und Schraubenbolzen oder, wie in Fig. 251, durch bloße Verschraubungen geschehen. Die letzte Anordnung gewährt den Vortheil, daß sie die Einbringung der Pumpe in enge Bohrlöcher gestattet.

Wird bei m, also dicht über dem Arbeitscylinder, ein kleines Loch in das Rohr C gebohrt, so entleert sich dieses nach dem jedesmaligen Gebrauche, man hat also im Winter nicht ein Zerfrieren der Röhre zu befürchten. Will man den geringen Verlust an Wasser vermeiden, welches während des Arbeitens aus der Oeffnung bei m fließt, so kann man diese mit einem Hahne oder Ventile versehen, welches mit Hülfe einer aufgesetzten Stange geöffnet und geschlossen werden kann.

Wird die sich dem Arbeitscylinder B der vorigen Figur anschließende Saugrohrleitung C′ nicht länger als 6 m gemacht, um ein leichtes Ansaugen des Wassers zu sichern, so fällt für größere Brunnentiefen häufig das Rohr C so lang aus, daß zur Vermeidung von seitlichen Bewegungen eine weitere Befestigung des Arbeitscylinders B nöthig wird. Außerdem empfiehlt es sich in solchen Fällen, den Cylinder B mit einem Windkessel zu verbinden.

Die Fig. 252 stellt eine derartige Anordnung dar. Der Windkessel ist, ähnlich wie bei

Fig. 252.

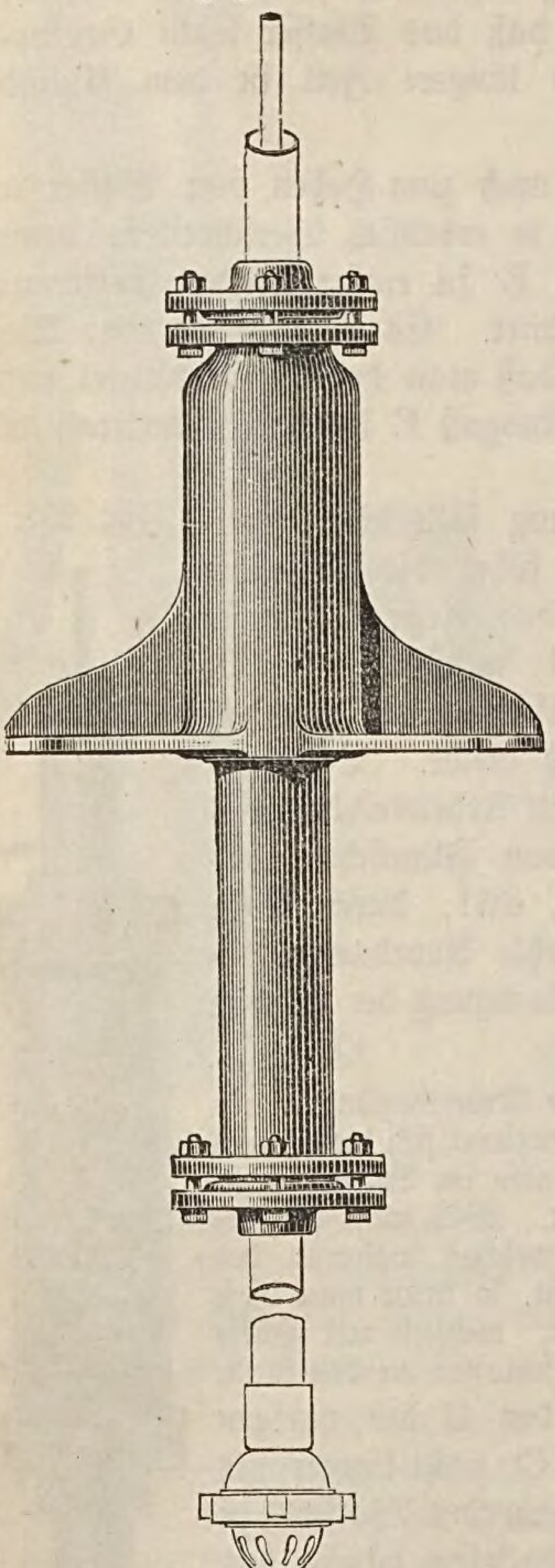


Fig. 249, durch eine Erweiterung des Arbeitscylinders gebildet, in welche das Steigrohr bis dicht über den Cylinder hineinragt, damit die eingeschlossene Luft, nicht nach oben entweichen kann. Die Lappen sollen sich auf Träger legen, welche quer durch den Brunnen in dessen Wandungen eingemauert sind.

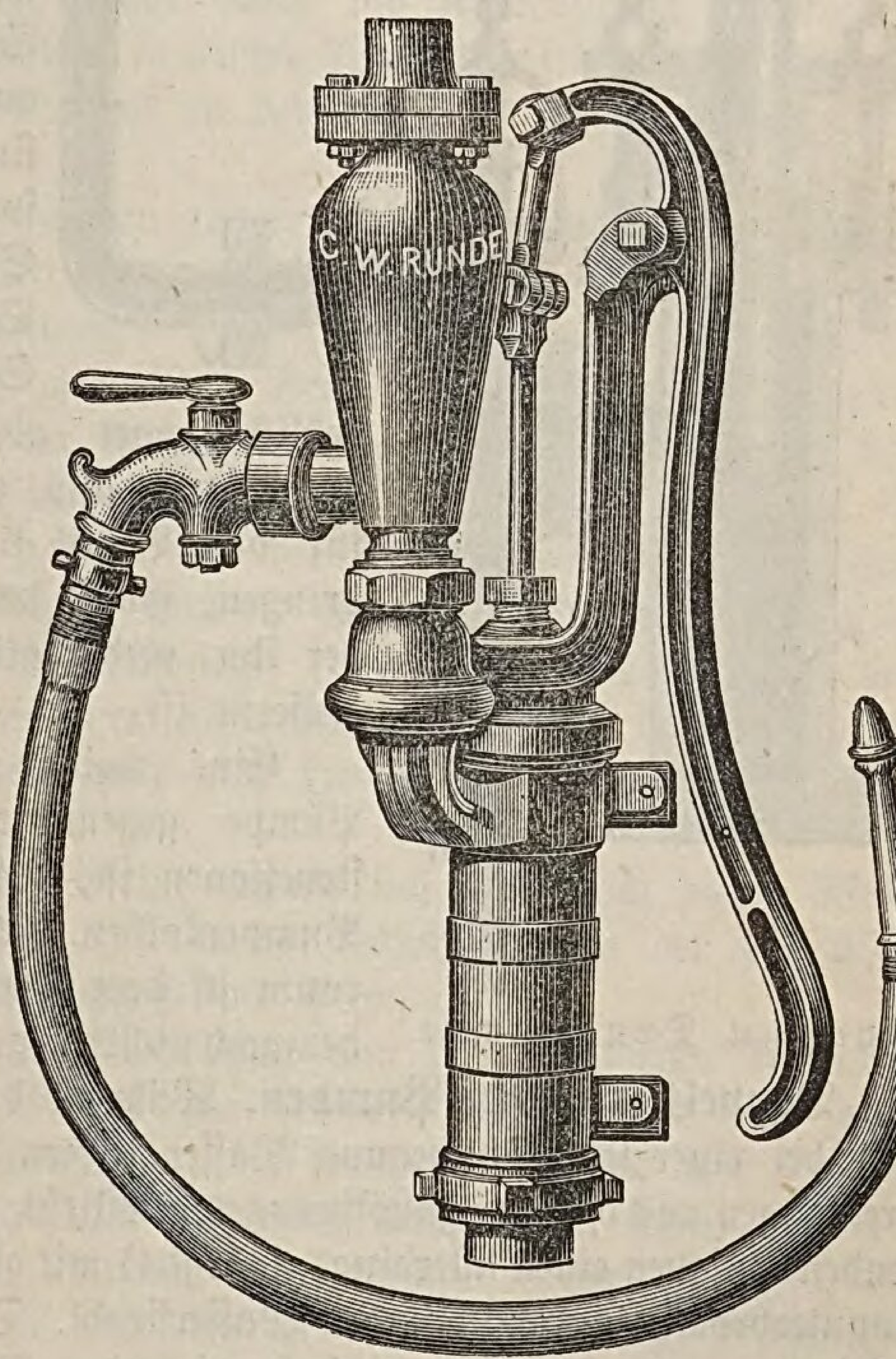
Es ist ein Uebelstand der Pumpenanordnungen nach den Fig. 251 u. 252, daß der Kolben A und das Saugventil D schwer zugänglich sind, indem die Saugrohrleitung C′ loszunehmen ist, wenn beide Theile nachgesehen werden sollen. Man giebt aus diesem Grunde häufig der Steigrohrleitung C einen etwas größeren Durchmesser als dem Arbeitscylinder B. Dadurch wird es möglich, den Kolben nach oben zu ziehen und ihn durch die Leitung C wieder in den Cylinder B zu stecken, ohne andere Theile als den Deckel der Pumpe (vergl. Fig. 249) und das obere Scharnier der Kolbenstange K loszunehmen.

Um das Ventil D zugänglich zu machen, bekommt es in solchen Fällen passend eine glatte nach unten etwas conische Form und wird oben mit einem Bügel versehen, an welchem es nebst dem Kolben mit Hülfe einer unten gekrümmten Stange leicht erfaßt und ebenfalls nach oben herausgezogen werden kann.

Macht die Tiefe des Brunnens nicht die Einsenkung des Pumpenstiefels (des Arbeitscylinders) in den Brunnenschacht nöthig und muß das Wasser auf höher gelegene Orte geschafft werden, so kommt besser die zweite der oben erwähnten Constructionen zur Anwendung, bei welcher sich an das Ausgußrohr E der Fig. 249 die nach der Bedarfsstelle führende Druckrohrleitung anschließt.

Bei der in Fig. 253 dargestellten Pumpe wird das frühere, jetzt aufwärts gebogene Ausgußrohr durch ein Ventil abgeschlossen, welches bei dem Niedergange des Kolbens das in der Steigrohrleitung befindliche Wasser von dem Pumpenstiefel abschließt. Diese Rohrleitung ragt zum Theil in den Windkessel hinein, welcher letztere zur Herabminderung der Stöße des Wassers in der Leitung dient. Seitlich an diesen Windkessel ist ein Hahn angebracht, um auch in der Nähe der Pumpe stets Wasser zur Verfügung zu haben. Ist genügend Druck vorhanden und wird ein Schlauch mit Mundstück an diesen Hahn geschraubt, so kann die Pumpe auch als Feuerspritze dienen. Die Einführung der Pumpenstange in die Pumpe ist wasserdicht durch eine Stopfbüchse vermittelt. Zur Befestigung ist der Cylinder mit angegossenen Lappen versehen.

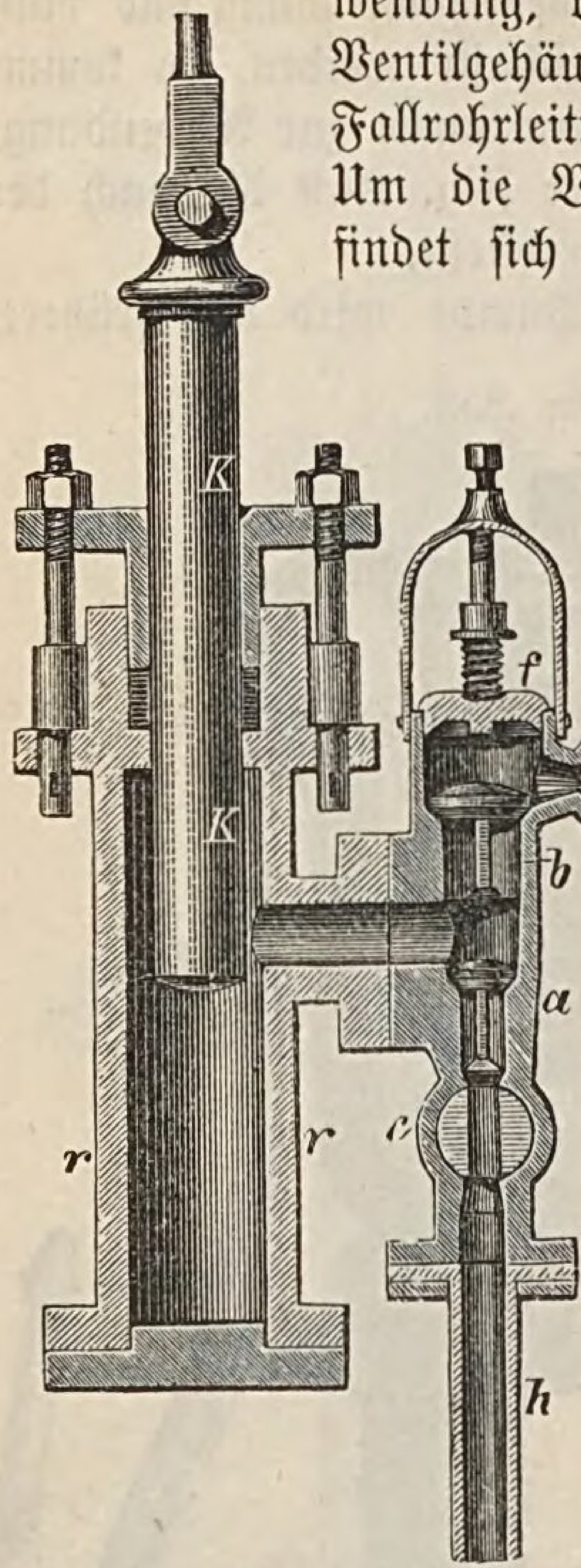
Fig. 253.



Pumpe und Feuerspritze.

Statt das Saugventil am Boden des Pumpenstiefels anzuordnen und den Pumpenkolben mit einem Durchgangsventile zu versehen,

Fig. 254.



Saug- u. Druckpumpe.

kommt häufig die Anordnung der Fig. 254 zur Anwendung, bei welcher beide Ventile in ein besonderes Ventilgehäuse verlegt sind. Diesem schließt sich die Fallrohrleitung h und die Druckrohrleitung s an. Um die Ventile jederzeit nachsehen zu können, befindet sich zwischen der Leitung s und den Ventilen der Absperrhahn d. Für manche Fälle, namentlich wenn die Pumpe zum Speisen von Dampfkesseln aus höher gelegenen Bassins dient, ist ein Absperrhahn c zwischen dem Saugventile a und der Saugrohrleitung h. Das Saugventil a ist erheblich enger als das Druckventil b, man kann also a durch die Bohrung für das Ventil b leicht ein- und ausbringen, sobald der Deckel f nach Lösung der ihn niederhaltenden Schraube zuvor entfernt ist.

Eine weitere Eigenthümlichkeit der Pumpe gegenüber den früheren Constructionen ist, daß die Pumpenstange als Pumpenkolben dient und sich mit Spielraum in dem Pumpenstiefel bewegt, der demnach nicht ausgebohrt zu werden braucht.

Doppelt wirkende Pumpen. Während die besprochenen Pumpen nur bei einer Kolbenbewegung Wasser liefern, also dieses mit Unterbrechungen aus den Ausgußöffnungen ausfließt, fördern die doppelt wirkenden Pumpen einen allerdings nicht stets mit gleicher Stärke, aber doch ununterbrochenen ausfließenden Wasserstrahl. Die Vortheile der doppelt wirkenden gegenüber den einfach wirkenden Pumpen beruhen einmal in dem Umstande, daß die meisten derselben bei gleichen Dimensionen mehr Wasser schaffen als jene, daß die zu ihrer Bewegung erforderliche Kraft weniger wechselt, und noch zum nicht geringsten Theile, daß die Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren gleichmäßiger ist. Aus dem letztgenannten Grunde sind Windkessel für doppelt wirkende Pumpen nicht so nothwendig wie für einfach wirkende.

Wird bei der Pumpe der Fig. 249 die Kolbenstange K so weit verstärkt, bis ihre Querschnittsfläche der halben Querschnittsfläche des Pumpenstiefels B gleich ist, so findet bei dem Niedergange des Kolbens das durch das Ventil v tretende Wasser in dem Pumpenstiefel nur zur Hälfte Platz, da die andere Hälfte des betreffenden Raumes durch die dicke Kolbenstange eingenommen wird. Es muß aus diesem Grunde die halbe vorher unter dem Kolben befindliche Wassermenge in den Raum B′ treten und durch den Ausguß E abfließen. Die andere, nicht durch die Kolbenstange verdrängte Hälfte des über dem Kolben stehenden Wassers wird bei der nächsten Aufwärtsbewegung des Kolbens in den Raum B′ gehoben und fließt dann ebenfalls ab.

Die gleichen Erscheinungen treten offenbar auch bei der Pumpe Fig. 251 ein, wenn hier ebenfalls die Kolbenstange K entsprechend verstärkt und die Rohrleitung C erweitert wird, damit sie der Kolbenstange freie Bewegung gestattet. Beide Pumpen liefern dasselbe Quantum Wasser bei dem Aufgange, wie bei dem Niedergange des Kolbens, die bei einer Kolbenbewegung geförderte Wassermenge ist jedoch nur halb so groß wie bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens der einfach wirkenden Pumpe, es wird durch die Einrichtung daher nur der Ausguß des Wassers, resp. dessen Bewegung in der Steigrohrleitung gleichmäßiger gemacht, aber weder das geförderte Wasserquantum vergrößert noch eine Herabminderung der Pumpendimensionen ermöglicht.

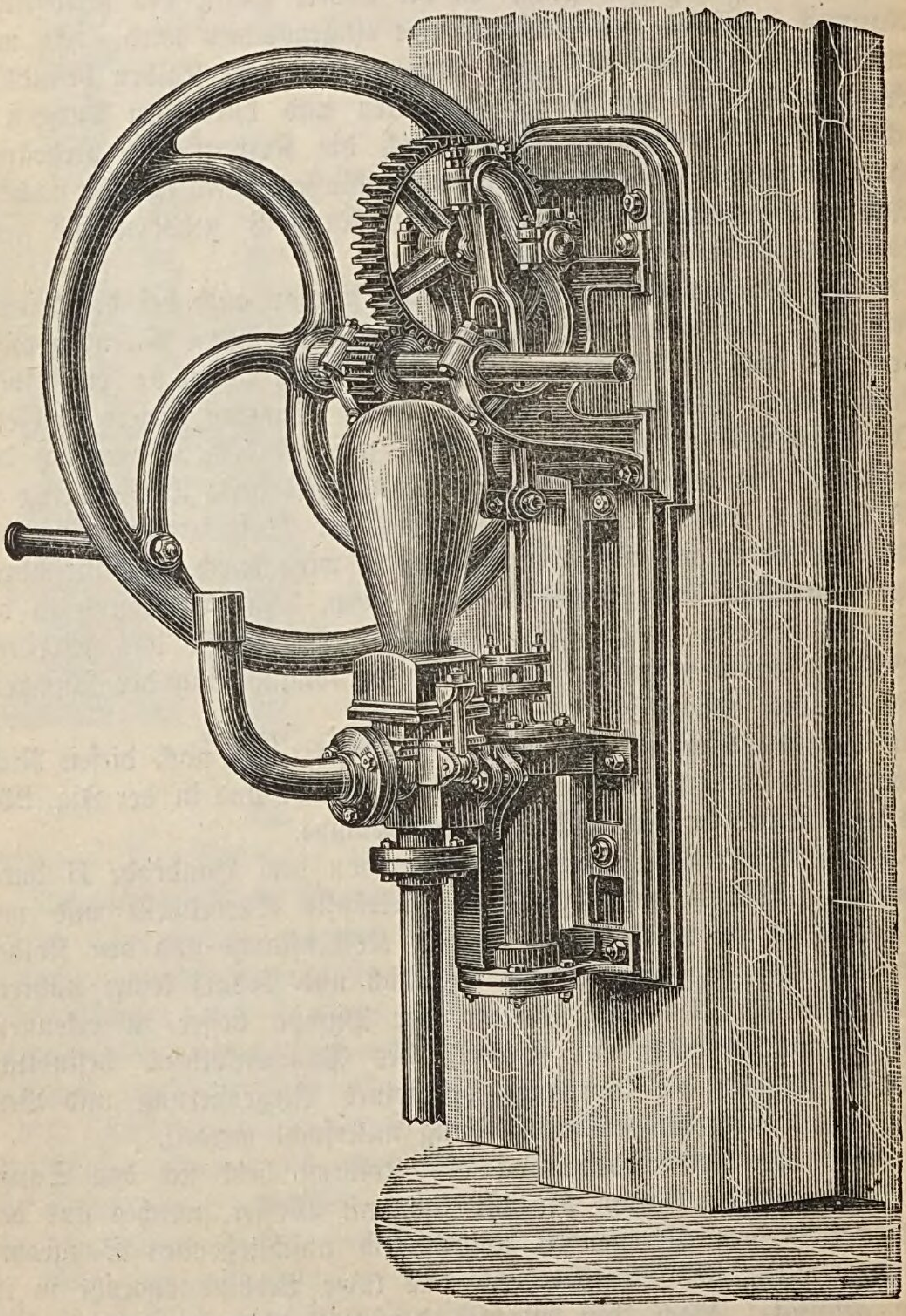
Vortheilhafter als die vorige erweist sich auch nach diesen Richtungen hin die in der Fig. 255 in der Ansicht und in der Fig. 256 in den Durchschnitten wiedergegebene Pumpe.

Die Uebertragung der Bewegung von dem Handrade H durch die Zahnräder R und R′ auf die gekröpfte Kurbelwelle und von dieser durch die Kurbelstange auf die Kolbenstange und den Kolben ist aus den Figuren deutlich ersichtlich und bedarf keiner näheren Beschreibung. Um die Wirkung der Pumpe besser zu erkennen, sollen zunächst allein der oberhalb des Pumpenkolbens befindliche Raum M und die Vorgänge bei seiner Vergrößerung und Verkleinerung durch die Kolbenbewegung untersucht werden.

Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens hebt sich das Saugventil s und der Raum M füllt sich mit Wasser, welches aus der sich bei D dem betreffenden Rohrflantsch anschließenden Saugrohrleitung durch das Ventil s und das kurze Verbindungsrohr m in ihn gelangt. Nach dem Wechsel der Kolbenbewegung wird das

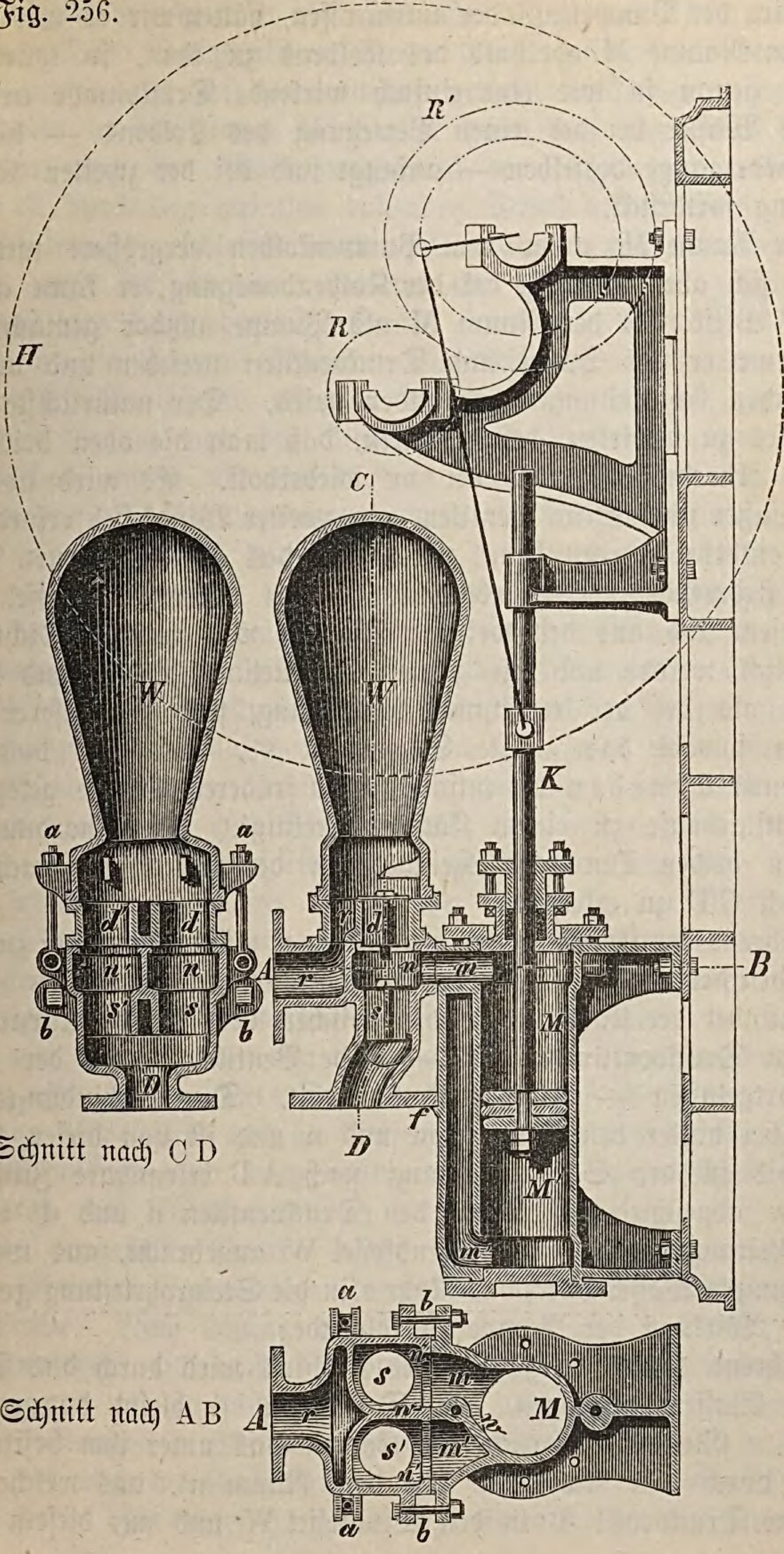
Wasser aus dem Raume M durch das sich jetzt hebende Druckventil d in den Windkessel W gepreßt, aus welchem es in die sich bei A anschließende Druckrohrleitung gelangt.

Fig 255.



Doppelt wirkende Pumpe.

Fig. 256.



Schnitt nach CD

Schnitt nach AB

Wäre der Pumpencylinder unten offen, hätten wir es also allein mit dem Raume M oberhalb des Kolbens zu thun, so würde die Pumpe genau so wie eine einfach wirkende Druckpumpe arbeiten, die das Wasser bei der einen Bewegung des Kolbens — hier bei dem Niedergange desselben — ansaugt und bei der zweiten Kolbenbewegung fortdrückt.

Der Raum M' unter dem Pumpenkolben vergrößert und verkleinert sich aber ebenfalls bei der Kolbenbewegung, er kann also in gleicher Weise wie der Raum M als Pumpe nutzbar gemacht werden, wenn er mit Saug- und Druckventilen versehen und mit den betreffenden Rohrleitungen verbunden wird. Der natürlichste Weg, um dieses zu bewirken, besteht darin, daß man die oben bei m getroffene Anordnung unten bei m' wiederholt. Es wird aber dadurch, außer zwei neuen Ventilen, ein zweiter Windkessel erforderlich, welcher entbehrt werden kann, wenn man das aus dem neuen Druckventile strömende Wasser ebenfalls in den ersten Windkessel leitet. Aus diesem und aus dem weiteren Grunde, weil weniger Dichtungen erforderlich werden und die ganze Construction leichter und solider ausfällt als bei der erwähnten Anordnung, sind bei unserer Construction sowohl das zweite Saugventil s', als auch das neue Druckventil d' neben die entsprechenden früheren Ventile gelegt und die Ventilgehäuse zu einem Körper vereinigt. Die Anordnung ist aus den beiden Durchschnittszeichnungen der Hauptfigur nach A B und nach C D zu erkennen.

Während der Kanal m in den Raum n mündet, welcher zwischen den beiden der oberen Cylinderpartie angehörenden Ventilen s und d liegt, mündet der Kanal m' in die zwischen dem Saugventilraume s' und dem Druckventilraume d' — beide Ventile sind in der Zeichnung fortgelassen — belegene Kammer n'. Der Verbindungskanal liegt dabei hinter den Räumen m und n und ist von diesen beiden durch die in der Schnittzeichnung nach A B erkennbare Zwischenwand w abgeschieden. Ueber den Druckventilen d und d' ist der beiden Leitungen gemeinsame Windkessel W angebracht, aus welchem das gepumpte Wasser durch das Rohr r in die Steigrohrleitung gelangt.

Die Wirkung der Pumpe ist folgende:

Während des Nieerganges des Kolbens wird durch das Saugventil s Wasser angesogen, das Druckventil d bleibt dagegen geschlossen. Gleichzeitig drückt der Kolben das unter ihm befindliche Wasser durch den Kanal m' in den Raum n', aus welchem es durch das Druckventil d' in den Windkessel W und aus diesem durch

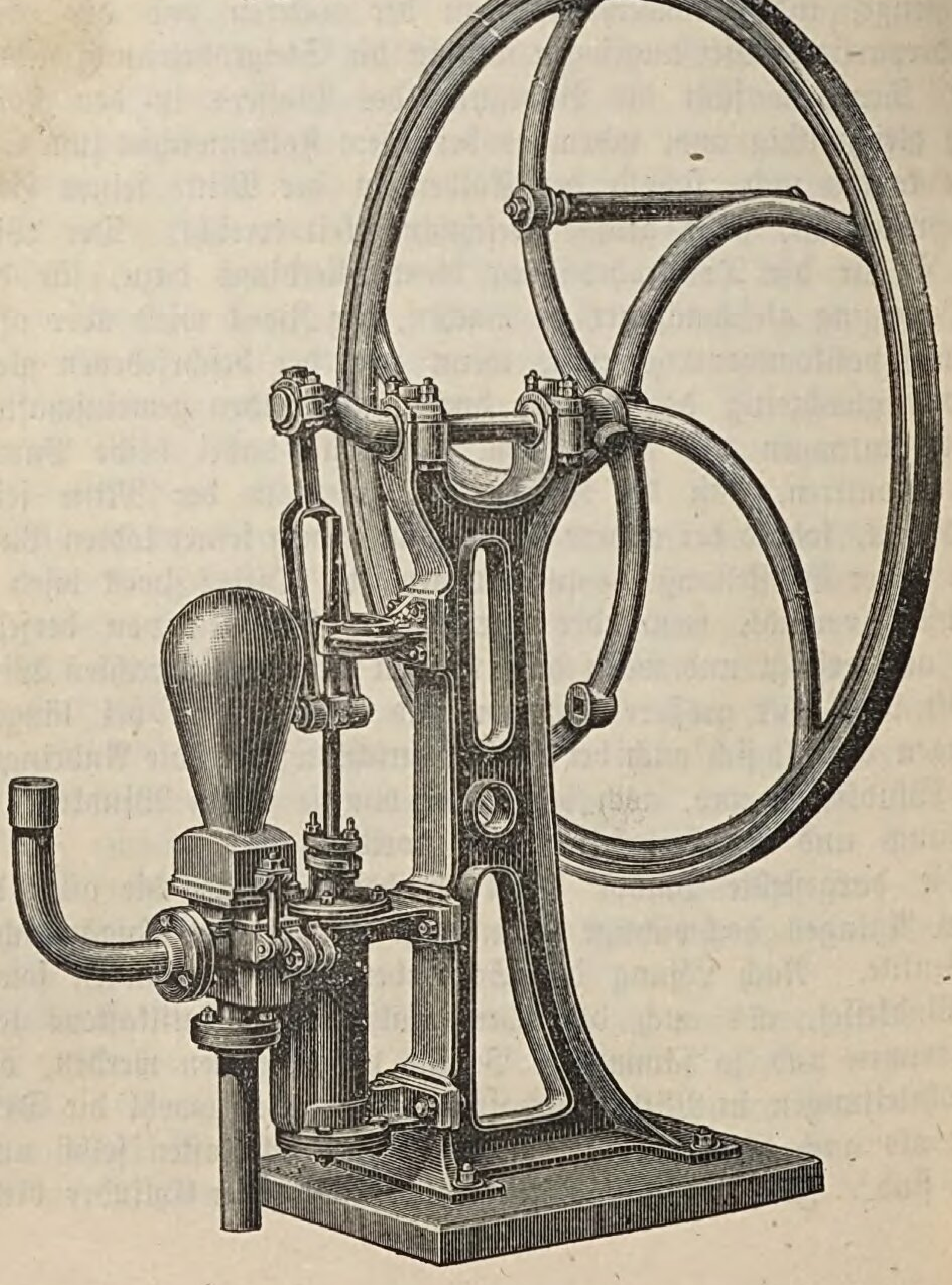
das Verbindungsrohr r in die nicht mit angegebene Steigrohrleitung gelangt. Das Saugventil s′ bleibt dabei geschlossen. Nach dem Kolbenwechsel, also bei der aufwärts gerichteten Bewegung des Kolbens, wird in den Raum M′ Wasser durch das Saugventil s′, den Raum n′ und den Verbindungskanal m′ angesogen, wobei das Ventil d′ durch den auf ihm ruhenden Druck des Wassers aus der Steigrohrleitung geschlossen bleibt. Das über dem Kolben befindliche Wasser wird von diesem verdrängt und gelangt bei geschlossenem Saugventile s durch das Druckventil d in den Windkessel W und durch r in die Steigrohrleitung. Die Leistung der Pumpe ist bei gleichem Cylinderinhalte offenbar die doppelte von der der einfach wirkenden Pumpe und die Bewegung des Wassers in den Rohren eine stetige, indem abwechselnd von der unteren und der oberen Cylinderpartie Wasser angesogen und in die Steigrohrleitung gedrückt wird. Trotzdem fällt die Bewegung des Wassers in den Rohren wenig gleichmäßig aus, indem es bei jedem Kolbenwechsel zum Stillstande kommt und, sobald der Kolben in der Mitte seines Hubes angekommen ist, seine größte Geschwindigkeit erreicht. Der Windkessel W für die Druckrohrleitung dient allerdings dazu, für diese die Bewegung gleichmäßiger zu machen, der Zweck wird aber offenbar noch vollkommener erreicht, wenn zwei der beschriebenen gleiche Pumpen gleichzeitig das Wasser durch eine beiden gemeinschaftliche Leitung ansaugen und fortdrücken. Es sind dabei beide Pumpen so zu montiren, daß der Kolben der einen in der Mitte seines Hubes steht, sobald der andere Kolben auf einem seiner todten Punkte — in seiner Endstellung — angekommen ist. Dieser Zweck wird am einfachsten erreicht, wenn der Antrieb der Pumpen von derselben Welle aus erfolgt und wenn diese doppelt unter einem rechten Winkel gekröpft ist. Für größere Anlagen und insbesondere bei längeren Leitungen erweist sich auch bei dieser Einrichtung noch die Anbringung eines Windkessels und, noch besser, die von je einem Windkessel für die Saug- und Druckrohrleitung als vortheilhaft.

Die dargestellte Pumpe besitzt in hohem Grade die allen derartigen Anlagen hochwichtige Eigenschaft der leichten Zugänglichkeit der Ventile. Nach Lösung der Schrauben a und a können sowohl der Windkessel, als auch die obere Hälfte des Ventilkastens leicht abgenommen und so sämmtliche Ventile losgenommen werden, ohne die Rohrleitungen in Mitleidenschaft zu ziehen, da sowohl die Druckrohre, als auch die Fallrohre an dem Ventilunterkasten selbst angebracht sind. Zur Befestigung des letzteren mit dem Cylinder dienen

die beiden Schrauben b b, wobei sich der Flantsch zur Anbringung der Saugrohrleitung bei f auf einen Vorsprung des Cylinders stützt. Die Lederklappen der früheren einfach wirkenden Pumpen sind hier durch Metallventile ersetzt.

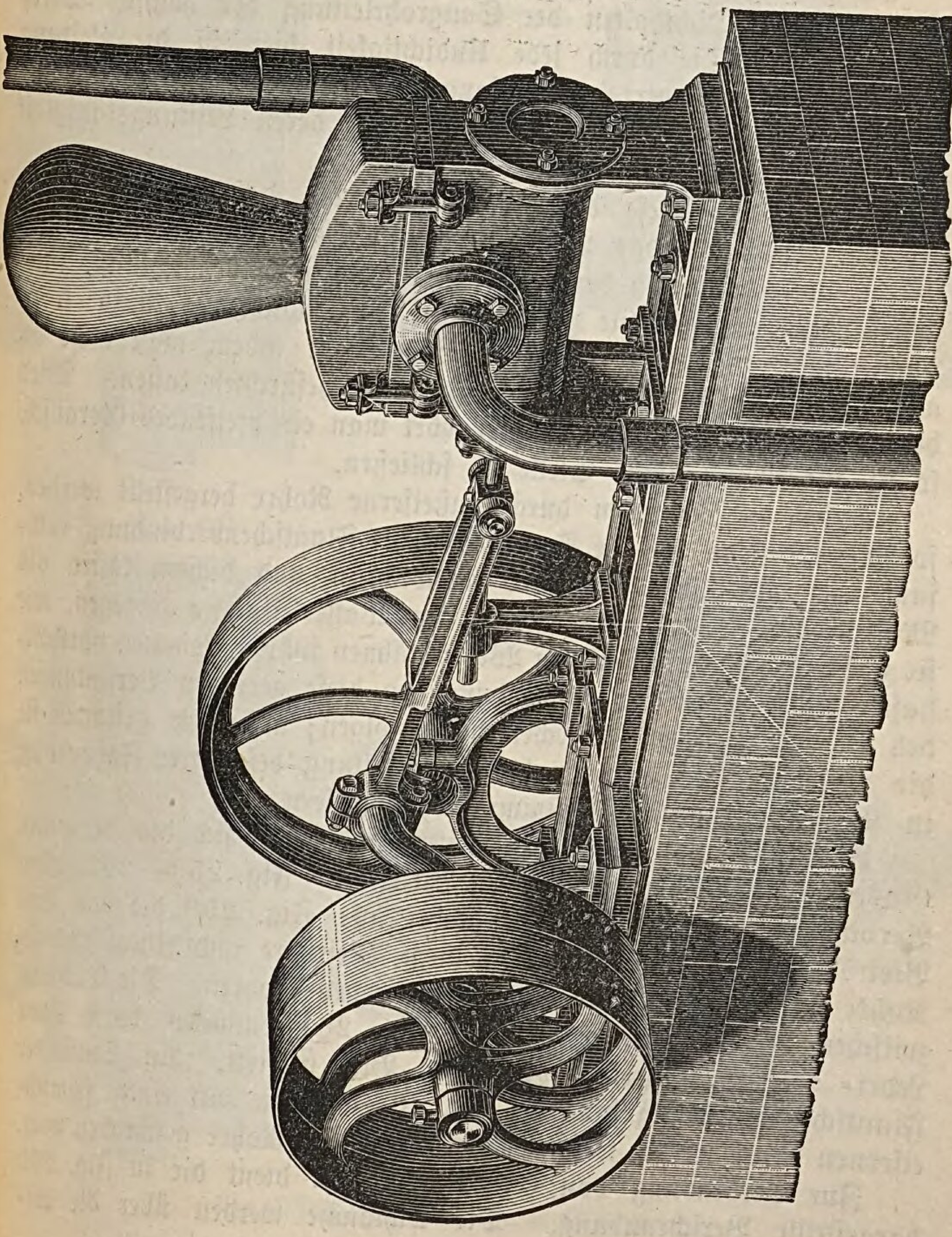
Es kommen sowohl einfach als auch doppelt wirkende Pumpen noch in zahlreichen, von den durch uns vorgeführten oft wesentlich abweichenden Anordnungen vor, das Vorstehende wird aber genügen, um ihre Wirkungsweise zu erkennen und um sich ein Urtheil über ihren Werth bilden zu können. Als Beispiele für abweichende Aufstellungen der Pumpe können die Fig. 257 und 258 dienen, von denen die erstere ohne weitere Beschreibung deutlich ist.

Fig. 257.



Der Antrieb der Pumpe der Fig. 258 wird durch Riemen bewirkt und sitzt die eine der nebeneinander angegebenen Riemscheiben lose auf der Schwungradwelle. Das Schwungrad hat den Zweck, den verschiedenen Kraftbedarf der Pumpe, jenachdem der Kolben auf der Mitte oder am Ende des Hubes steht, auszugleichen.

Fig. 258.



Die Saug- und Druckventile liegen, abweichend von der Construction der Fig. 256 und 257, an beiden Enden des Arbeitscylinders und sind nach Abnahme des Windkessels zugänglich. Die Saug- und Druckrohre sind wieder am Ventilunterkasten, der hier mit dem Arbeitscylinder in einem Stück hergestellt ist, befestigt, sie werden also von der Offenlegung der Ventile nicht berührt.

Es ist schon wiederholt darauf hingewiesen, daß insbesondere auf ein gutes Dichthalten der Saugrohrleitung der höchste Werth zu legen ist. Die durch jede Undichtigkeit hier in die Leitung dringende Luft erschwert das Ansaugen des Wassers und bringt zugleich mit diesem in die Pumpe, wodurch deren Leistungsfähigkeit erheblich herabgemindert wird.

Man erkennt diese Undichtigkeiten daran, daß solche Pumpen bei dem Stillstande das Wasser aus den Saugrohren fallen lassen. Um zu untersuchen, ob der Fehler in schlechter Kolbendichtung, nicht schließendem Saugventile oder ob er in undichter Leitung liegt, leuchtet man die letztere mit einer Lampe ab, indem man diese an alle die Stellen hält, welche Undichtigkeiten befürchten lassen. Wird dabei die Flamme angesogen oder hört man ein pfeifendes Geräusch, so ist auf eine undichte Stelle zu schließen.

Sollen die Leitungen durch gußeiserne Rohre hergestellt werden, so ist mindestens für die Saugrohre eine Flantschenverbindung rathsam, weil sich diese bequemer auswechseln und dichten lassen als Muffenrohre. Zu langen und weiten Wasserleitungen dagegen, wie sie z. B. von Cisternen zu den Wasserkrähnen führen, kommen vortheilhafter Muffenrohre zur Anwendung, da diese geringen Versackungen des Bodens ohne zu zerbrechen besser folgen; außerdem gestatten sie die Verlegung der Leitung ohne Einschaltung besonderer Façonrohre in Kurven mit großen Krümmungshalbmessern.

Für kurze und nicht weite Leitungen eignen sich die bekannten Gasrohre aus Schmiedeisen oder Bleirohre. Fig. 259—261 geben Verbindungen der betreffenden Rohre an: Fig. 259 die von zwei Bleiröhren, Fig. 260 die von einem Bleirohre und einem eisernen Rohre und Fig. 261 die von zwei eisernen Rohren. Die Dichtung zwischen den Flantschen wird bei Fig. 261 entweder durch einen Leder- oder Gummiring oder durch Blei bewirkt. An Stelle der Flantschenverbindung kann bei Fig. 261 auch die mit einem schmiedeisernen Muff treten, welcher über die beiden Rohre geschroben wird.

Zur Verbindung von Gummischläuchen dient die in Fig. 262 dargestellte Verschraubung. Die Schläuche werden über die vor-

springenden beiden Rohrstutzen (aus Eisen oder aus Messing) geschoben und auf diesen durch Umwicklung mit Draht oder mit Bindfaden befestigt.

Fig. 259.

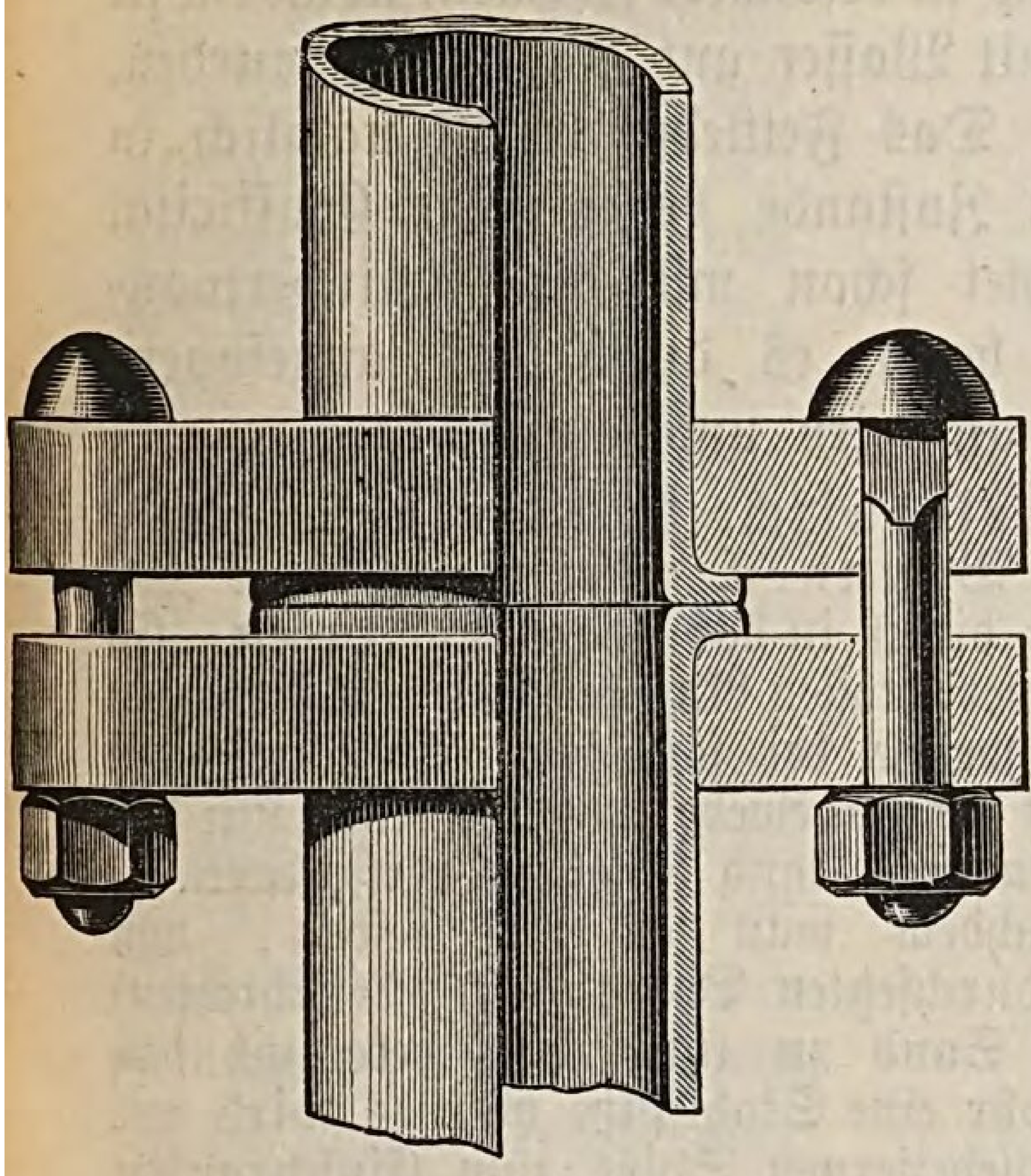


Fig. 260.

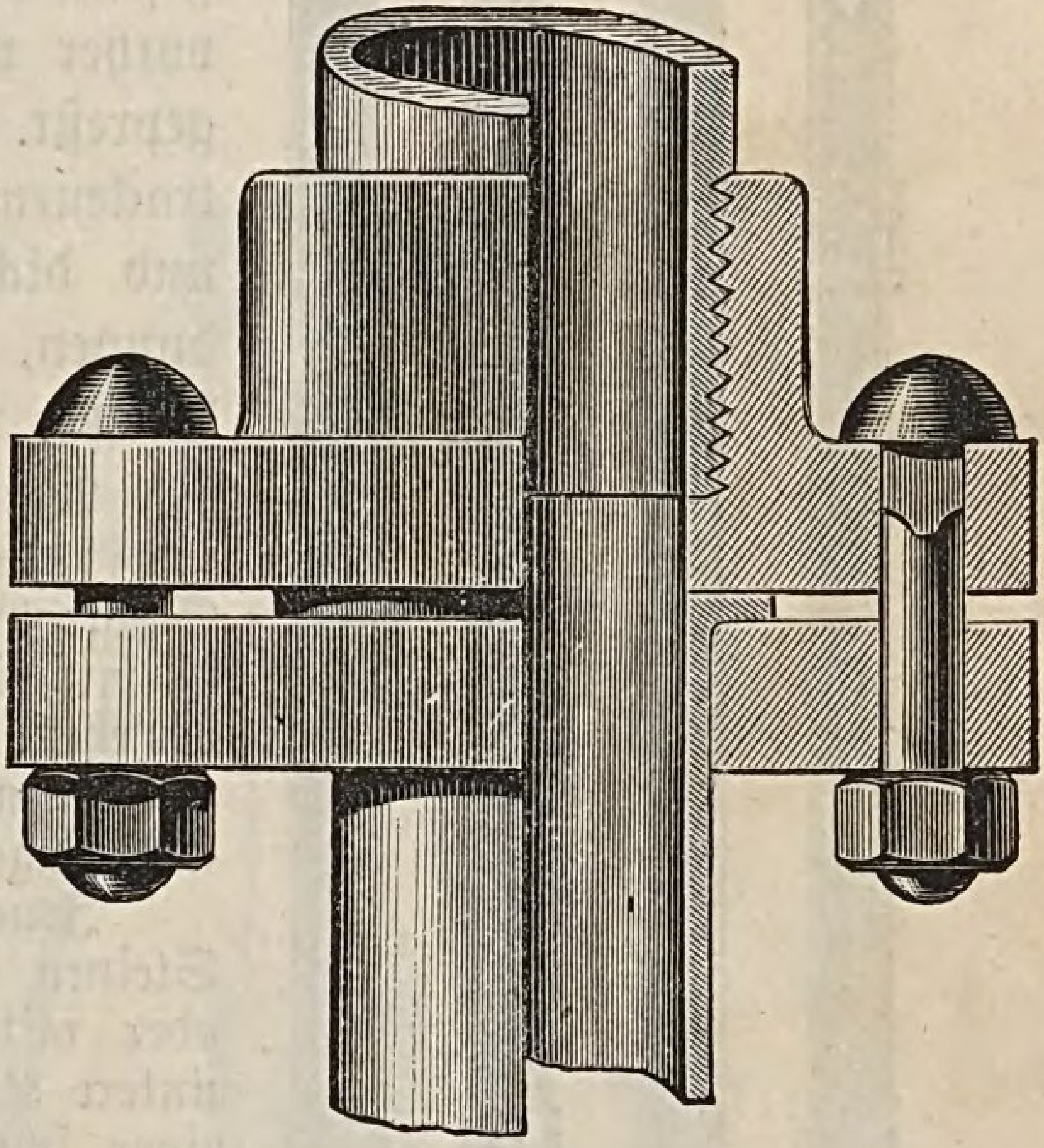


Fig. 261.

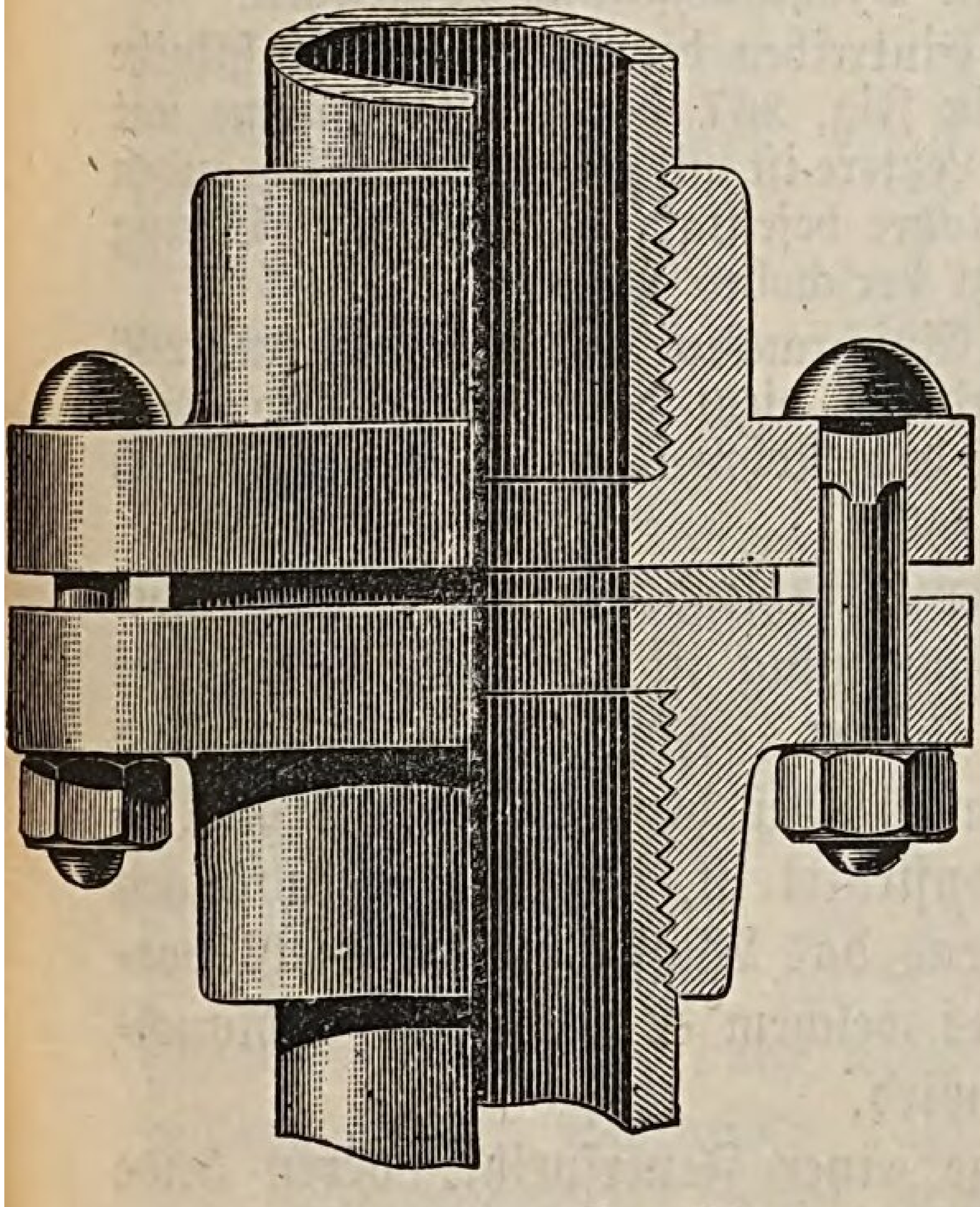
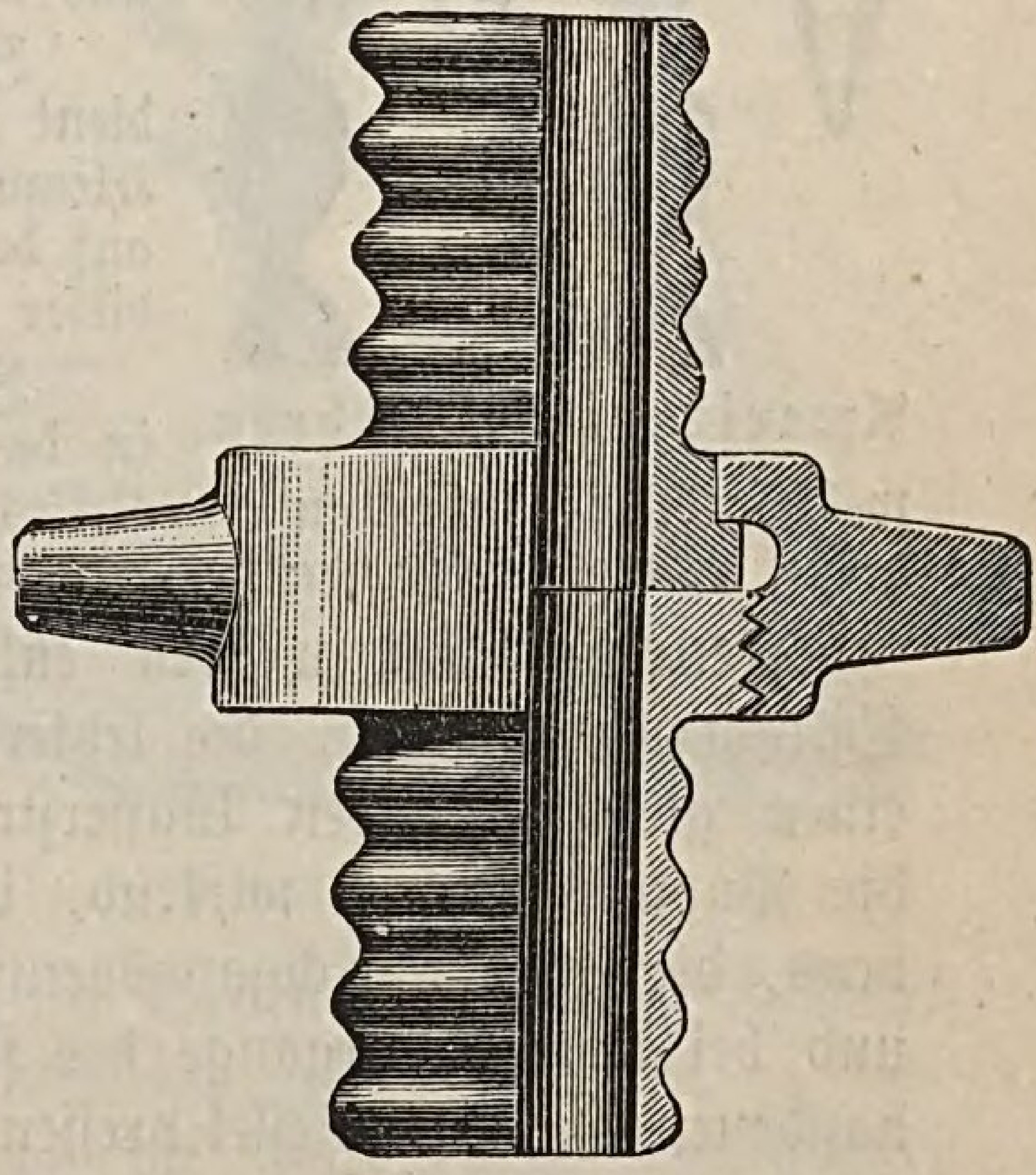


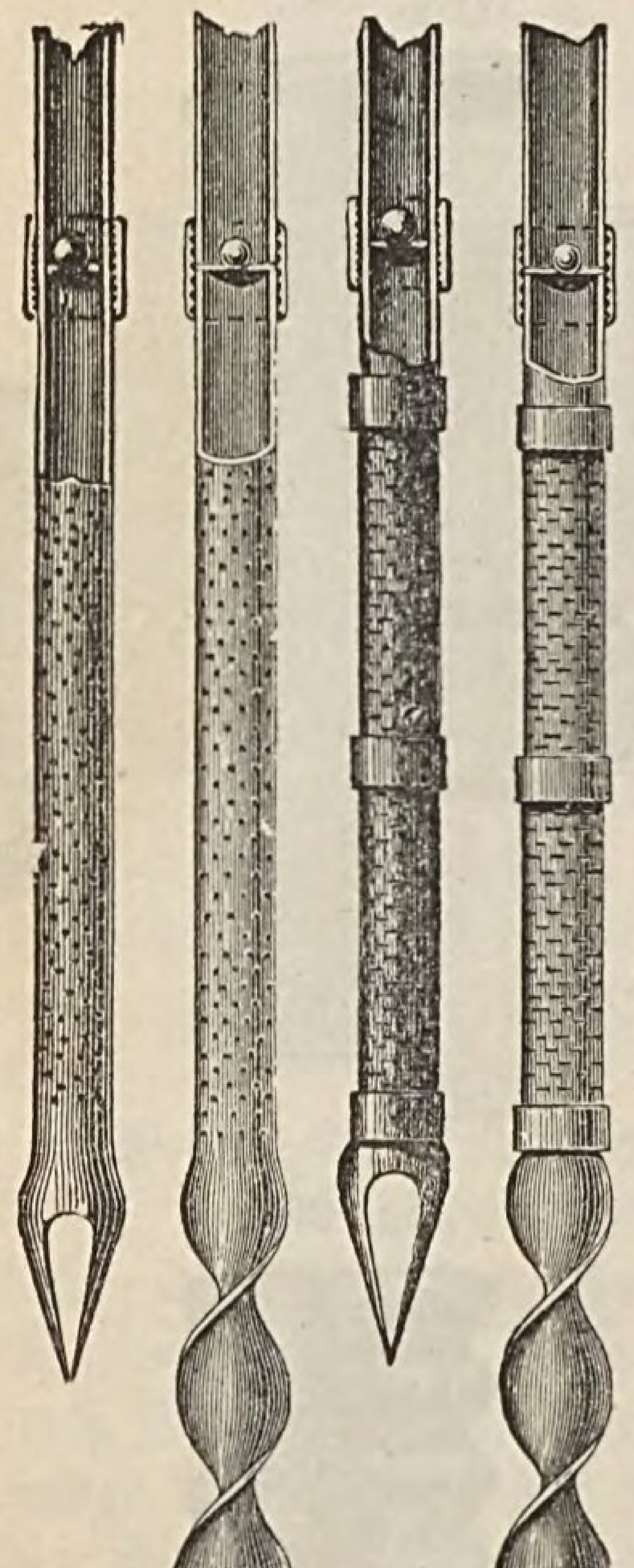
Fig. 262.



Verbindungen von Röhren.

Das zu Pumpenventilen und Kolben verwendete Leder muß gutes Kernleder sein und darf für die letzteren nicht eingefettet werden, weil sich das Leder sonst bald lang zieht. Die Lederstulpen der Kolben werden meist aus sog. Fettleder hergestellt und in besondere Formen, nachdem sie vorher mit Wasser gut eingeweicht wurden, gepreßt. Das Fettleder behält nämlich in trockenem Zustande besser seine Elasticität und dichtet schon mit den Cylinderwandungen, bevor es durch das angesogene Wasser naß wird und aufquillt.

Fig. 263, 264, 265, 266.



Amerikanische Röhren.

Amerikanische Röhren oder abessinische Brunnen. Bei diesen wird das Saugrohr direct in das Erdreich getrieben. Es ist mit einer großen Anzahl kleiner Oeffnungen versehen, welche bei sandigem Erdreiche noch mit einem Metallgewebe umgeben sind, um das Eindringen von Sand besser zu verhindern.

Jenachdem man es mit festem, von Steinen durchsetzten Boden (mit Kiesschichten) oder mit Sand zu thun hat, bekommt das untere Rohr eine Stahlspitze oder es wird mit einer schmiedeisernen Spitze zum Einschrauben eingerichtet, Fig. 263—266. Bei Fig. 265 und 266 ist Drahtumhüllung vorgesehen.

Zum Eintreiben der Rohre mit Stahlspitze dient die in Fig. 267 dargestellte Ramme mit Klemme. Letztere ist mit einigen Druckschrauben auf dem Rohre befestigt und kann nach Lösung dieser leicht verschoben werden.

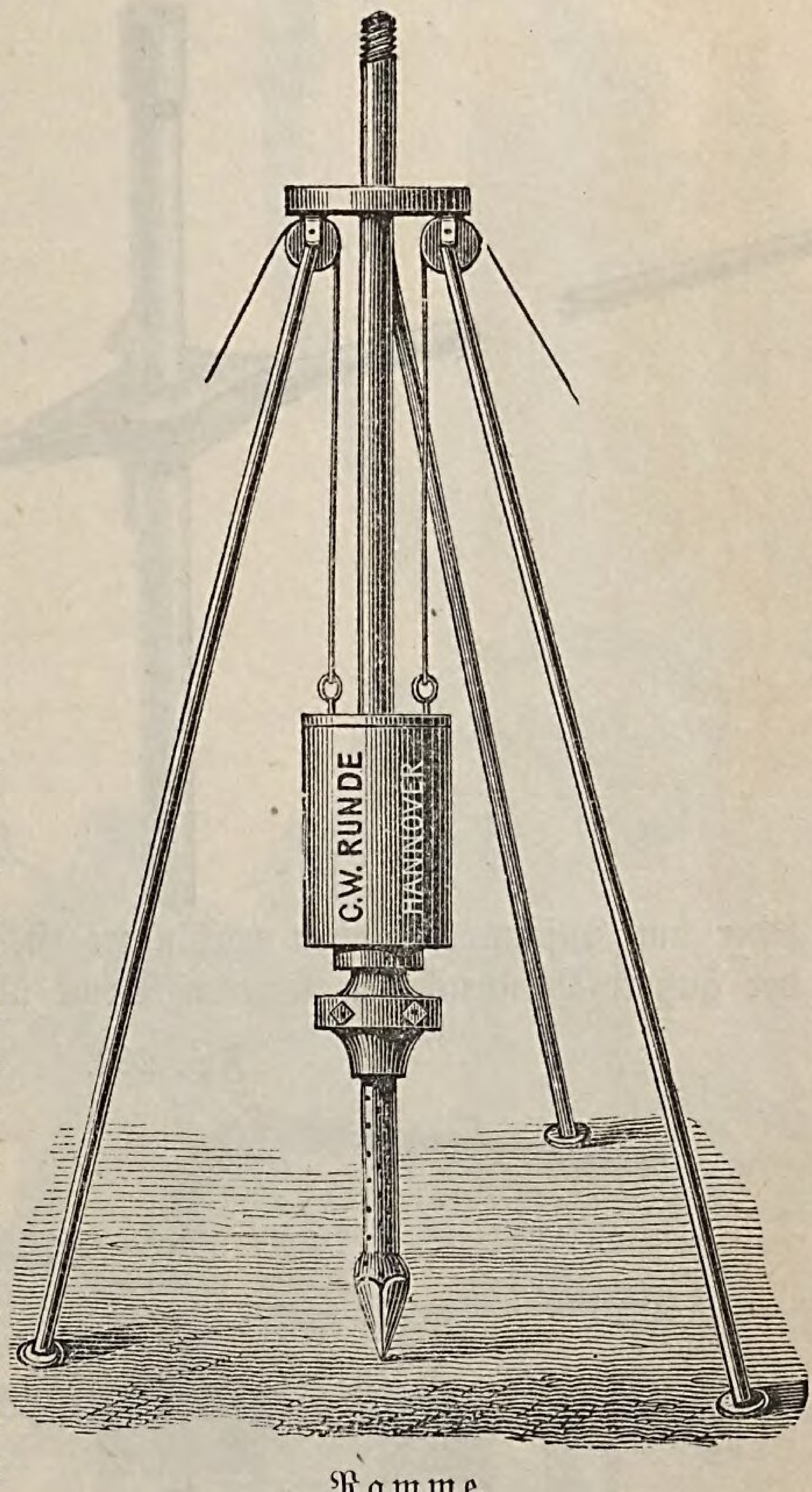
Zum Einschrauben der Rohre 264 und 266 in das Erdreich dient der Apparat Fig. 268, welcher durch Antreiben des Keiles auf dem Rohre befestigt wird und nach dessen Lösung leicht verschoben werden kann.

Feuerspritzen werden entweder eincylindrisch oder mit zwei Cylindern hergestellt, die letztere Anordnung ist die bessere, weil sie einen gleichmäßigeren Wasserstrahl liefert. Fast ausnahmslos sind die Pumpen einfach wirkend, indem sie bei dem Anheben des Kolbens, der ohne Durchgangsventil construirt ist, das Wasser ansaugen und bei dem Niedergange des Kolbens das Wasser in den stets vorhandenen Druckwindkessel pressen, aus welchem es durch eine Schlauchleitung der Bedarfsstelle zugeführt wird.

Die Fig. 269 zeigt die Skizze einer Feuerspritze, deren beide Arbeitscylinder m und n in dem Wasserbehälter stehen. Bei dem

Anheben der Kolben fließt das Wasser durch die Bodenventile direct in die Cylinder, es sind also geringe Undichtigkeiten wenig schädlich. Bei dem Niedergange der Kolben wird das in den Cylindern befindliche Wasser durch seitlich angebrachte Ventile in den Windkessel w gedrückt, aus welchem es durch ein nahe bis zum Boden reichendes Rohr nach dem Mundstücke r gelangt. Die Stärke des hier ausspritzenden Wasserstrahls ist um so gleichmäßiger, je größer der Windkessel w im Verhältniß zu den Cylindern ist. Statt der Klappenventile kommen jedoch mehr Kegel- oder Kugelventile aus Metall zur Anwendung, welche letztere namentlich sich weniger leicht als jene festsetzen und etwa in die Pumpe gerathenen Holztheilen und anderen harten Gegenständen eher den Durchgang gestatten.

Fig. 267.

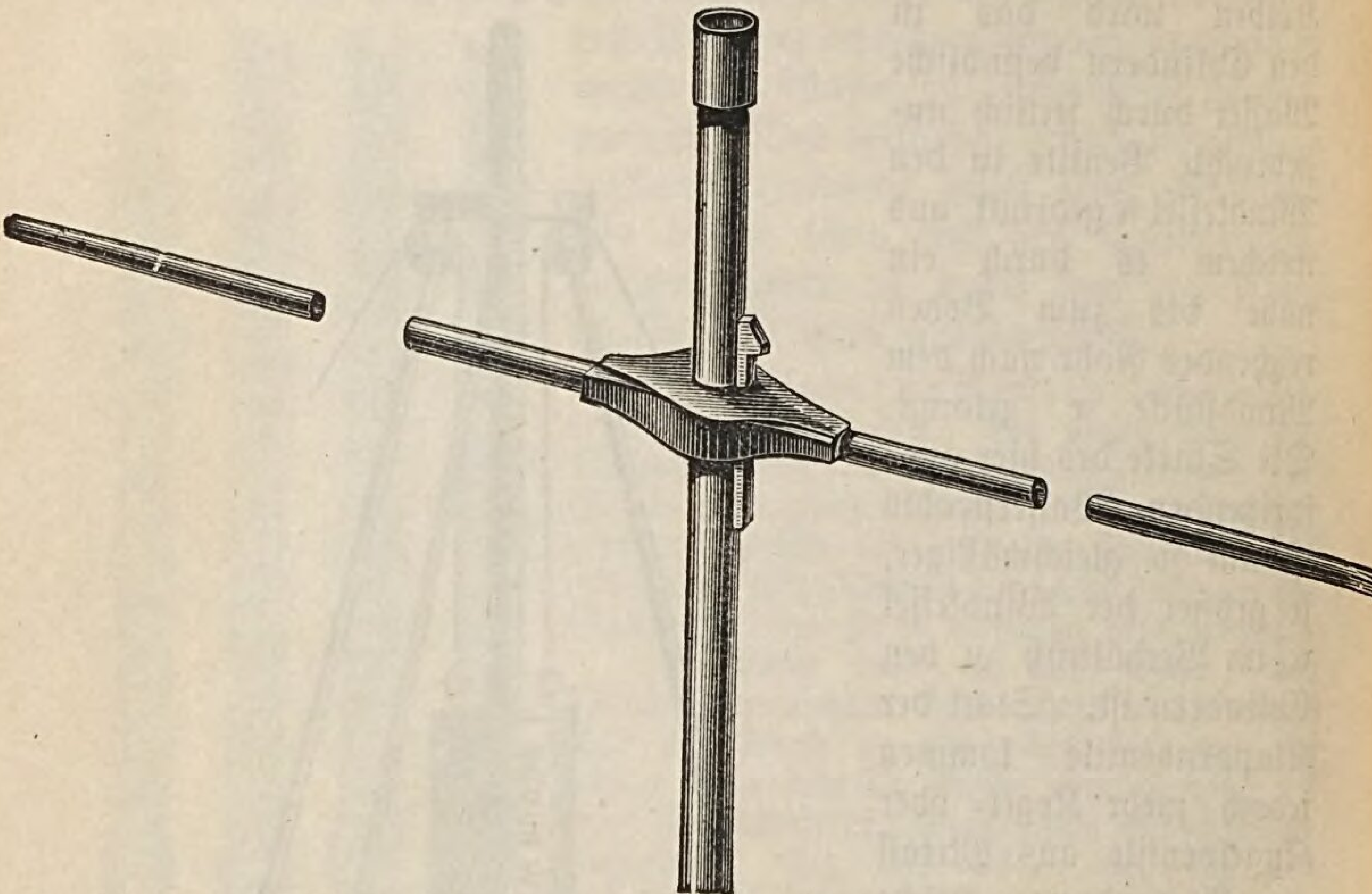


Ramme.

Bei der in Fig. 270 in der Ansicht gezeichneten doppelcylindrigen Saug- und Druckpumpe der Feuerspritze sind solche Kugelventile vorgesehen, die zu beiden Seiten der Pumpe doppelt — je ein Saug- und ein Druckventil für jeden Cylinder — angeordnet sind und nach Lösung der die betreffenden Ventildeckel niederhaltenden Schrauben rasch zugänglich gemacht werden können. Die Pumpencylinder selbst stehen frei und muß das Wasser durch einen Schlauch, welcher an der vorn sichtbaren Schlauchmuffe befestigt

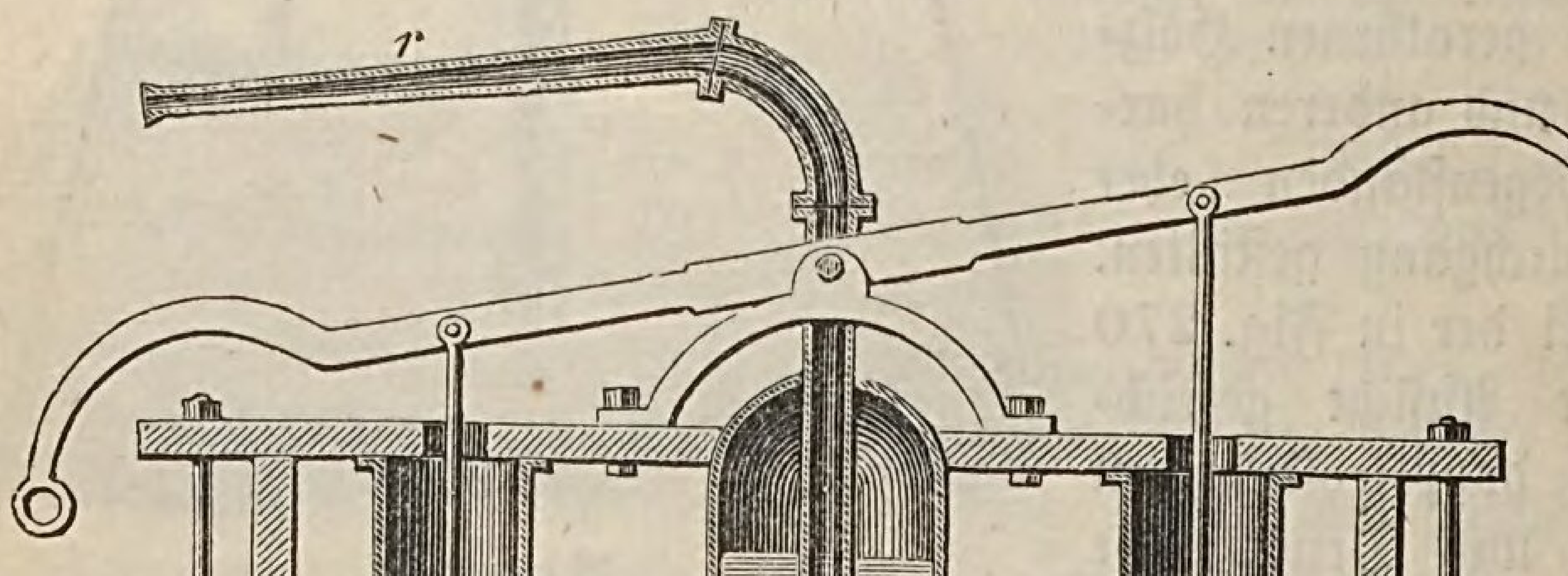
wird, angesogen werden. Dieser Schlauch wird passend aus Gummi hergestellt, das durch eine innerhalb des Schlauches befindliche Spiral-

Fig. 268.



feder am Zusammenklappen verhindert ist, wenn bei dem Ansaugen der äußere Luftdruck den inneren Druck überwiegt.

Fig. 269.



Feuerspritze.

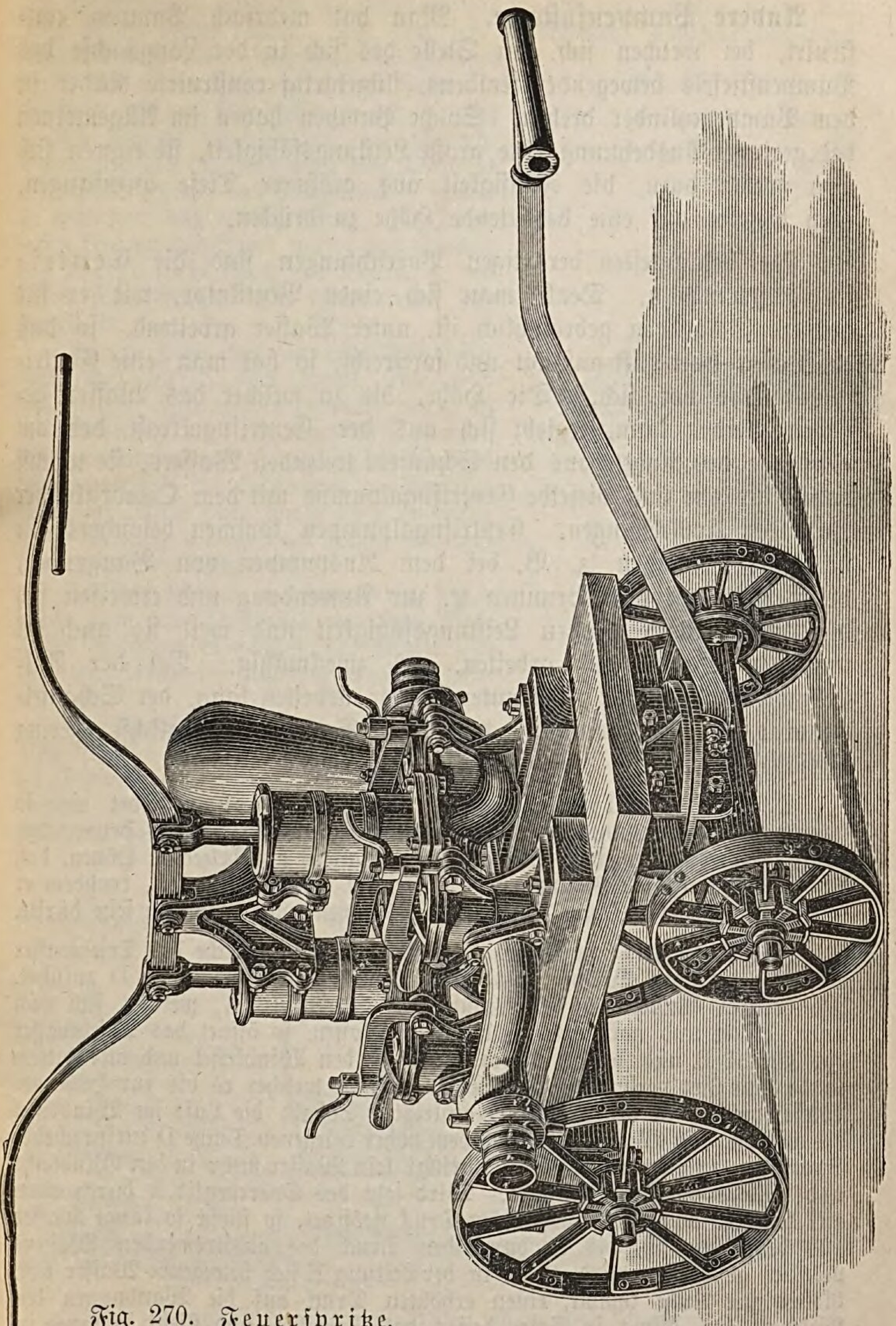


Fig. 270. Feuerspritze.

Andere Pumpensysteme. Man hat mehrfach Pumpen construirt, bei welchen sich, an Stelle des sich in der Längsachse des Pumpenstiefels bewegenden Kolbens, flügelartig construirte Räder in dem Pumpencylinder drehen. Solche Pumpen haben im Allgemeinen bei geringer Ausdehnung eine große Leistungsfähigkeit, sie eignen sich aber weder dazu, die Flüssigkeit aus größerer Tiefe anzusaugen, noch dieselbe auf eine bedeutende Höhe zu drücken.

Die bekanntesten derartigen Vorrichtungen sind die Centrifugalpumpen. Denkt man sich einen Ventilator, wie er für größere Schmieden gebräuchlich ist, unter Wasser arbeitend, so daß er Wasser statt Luft ansaugt und forttreibt, so hat man eine Centrifugalpumpe vor sich. Die Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben werden kann, ergiebt sich aus der Centrifugalkraft des am Umfange des Rades aus den Schaufeln tretenden Wassers, sie wächst daher für ein und dieselbe Centrifugalpumpe mit dem Quadrate der Zahl der Umdrehungen. Centrifugalpumpen kommen besonders für vorläufige Anlagen, z. B. bei dem Auspumpen von Baugruben, bei der Anlage von Brunnen ꝛc. zur Anwendung und erweisen sich hier wegen ihrer großen Leistungsfähigkeit und weil sie auch bei unreinem Wasser gut arbeiten, als zweckmäßig. Bei der Aufstellung ist, sobald er nicht unter Wasser arbeiten kann, der Schaufelapparat so zu montiren, daß die Saughöhe möglichst gering ausfällt.

Der hydraulische Widder oder Stoßheber bildet eine so interessante Anwendung der lebendigen Kraft sich in Röhren bewegenden Wassers zum Heben eines Theiles dieses Wassers auf beliebige Höhen, daß die Beschreibung dieses Apparates hier nicht unterbleiben soll, trotzdem er für Eisenbahnzwecke kaum zu häufigerer Anwendung gekommen sein dürfte.

In der Fig. 271 bezeichnet E die Rohrleitung, welche das Triebwasser dem hydraulischen Widder aus einem höher belegenen Teiche D zuführt. Ist bei der Anstellung der Pumpe das Stoßventil A, welches sich nach unten öffnet und nach oben schließt, geschlossen, so öffnet das Triebwasser das Ventil B und dringt durch dieses in den Windkessel und aus diesem in die mit ihm verbundene Rohrleitung G, in welcher es bis zur Höhe des Wasserspiegels in dem Teiche D ansteigt. Sobald die Luft im Windkessel bis auf die dem Wasserdrucke aus dem höher belegenen Teiche D entsprechende Spannung zusammengedrückt ist, dringt kein Wasser mehr in den Windkessel und schließt sich das Ventil B. Wird jetzt das Sperrventil A durch einen auf dasselbe von oben ausgeübten Druck geöffnet, so fließt so lange Wasser aus demselben ab, bis es durch den Druck des ausströmenden Wassers plötzlich geschlossen wird. Das in der Leitung E sich bewegende Wasser übt, bis es zur Ruhe kommt, einen erhöhten Druck auf die Wandungen des Widders aus, öffnet in Folge dessen das Ventil B und fließt so lange in

den Windkessel C und die Druckrohrleitung G, bis das Wasser in der Leitung E zur Ruhe kommt. Bei dem jetzt erfolgenden Schließen des Ventiles B dringt aber gleichzeitig ein geringer Theil des unter höherem Drucke stehenden Wassers aus dem Windkessel in die Leitung E und bewirkt in derselben eine schwache Bewegung des Wassers nach dem Teiche D zu, welche genügt, das Stoßventil A soweit zu entlasten, daß es sich öffnet. In Folge dessen beginnt das Spiel wieder von Neuem; das Wasser fließt durch das Ventil A, bis dieses sich schließt, und öffnet dann das Ventil B.

Damit stets Luft in dem Windkessel vorhanden bleibt, oder damit etwa mitfortgerissene Luft wieder erneuert wird, ist in die Leitung bei J ein enges Loch gebohrt. Bei der rückgängigen Bewegung des Wassers im Augenblicke des Schließens des Ventiles B dringt etwas Luft durch diese Bohrung in die Leitung und gelangt später mit dem Wasser in den Windkessel C.

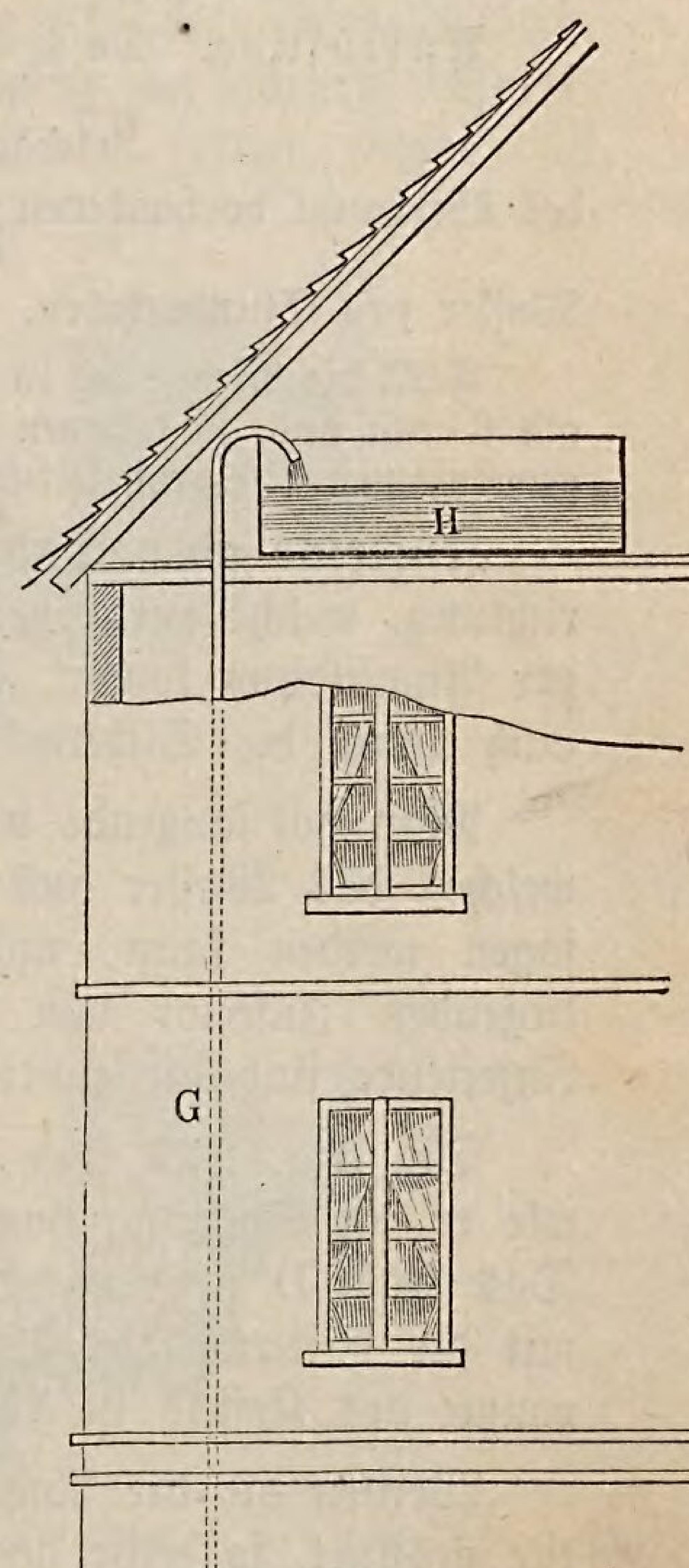
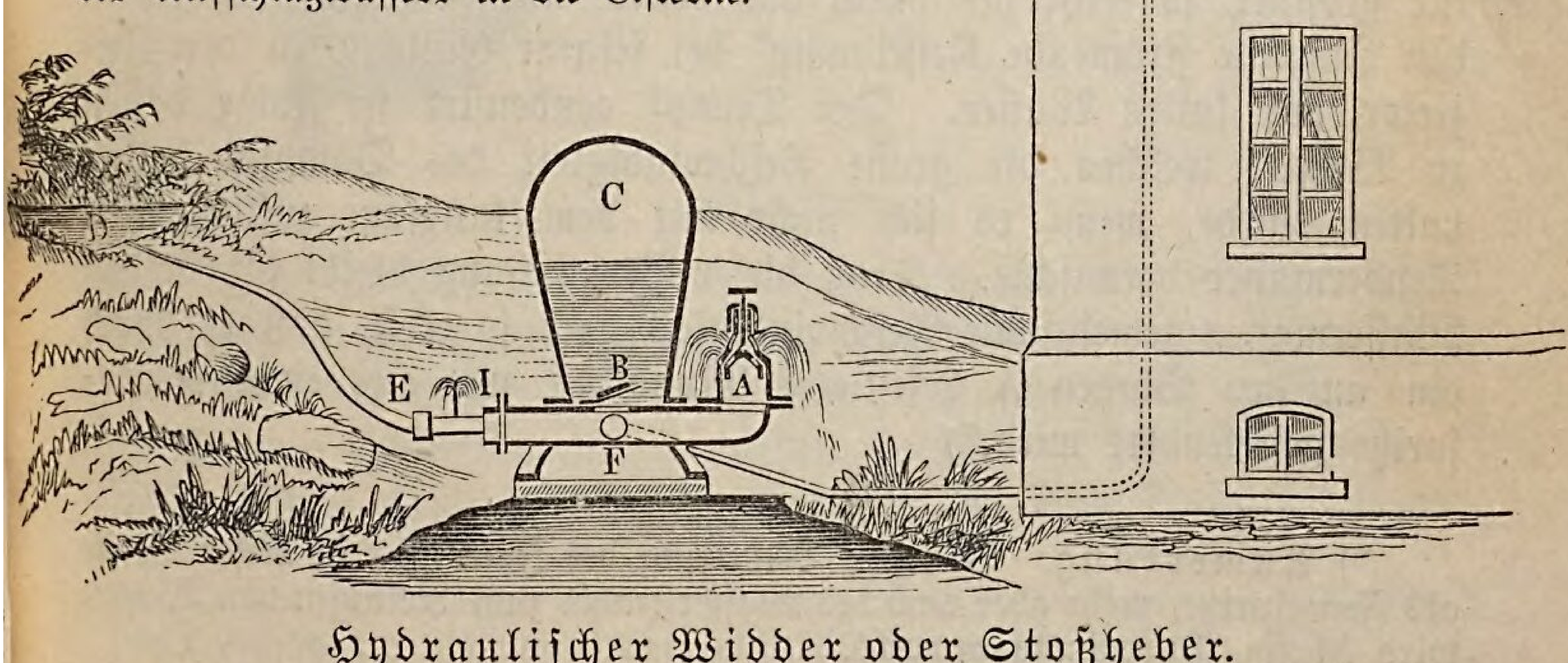
Um den Widder in Thätigkeit zu setzen, drückt man das Stoßventil A einige Male nieder, während es genügt, das Ventil festzuhalten, sobald der Apparat abgestellt werden soll.

Der Nutzeffect, mit welchem der hydraulische Widder arbeitet, beträgt etwa 70%, der Widder selbst schafft also, wenn h das Gefälle von D bis zum Widder und h′ die Höhe der Cisterne H über dem Widder ist,

$$0{,}7 \cdot \frac{h}{h'} \text{ Theile}$$

des Aufschlagwassers in die Cisterne.

Fig. 271.

Hydraulischer Widder oder Stoßheber.

Beispiel. In einem Graben, welcher pro Stunde 2 cbm Wasser liefert, sei durch Stauvorrichtungen ein Gefälle von 1,25 m geschaffen; es fragt sich, wie viel Wasser pro Stunde mit Hülfe eines hydraulischen Widders auf eine Höhe von 8 m gepumpt werden kann.

Auflösung. Da $h = 1,25$ und $h' = 8$ m ist, so kann der Widder

$$0,7 \cdot \frac{h}{h'} = 0,7 \frac{1,25}{8} = 0,11 \text{ Theile}$$

des überhaupt vorhandenen Wassers, also

$$0,11 . 2 = 0,22 \text{ cbm}$$

Wasser pro Stunde heben.

Fällt die Menge des in der Stunde zufließenden Aufschlagwassers größer als 6 cbm aus, so kommen passend mehrere Widder nebeneinander mit einer gemeinsamen Steigrohrleitung zur Anwendung.

Injector oder Dampfstrahlpumpe. Sie ist eine Pumpvorrichtung, welche zur Speisung von Dampfkesseln immer allgemeiner zur Anwendung kommt, und die sowohl durch ihre Einfachheit, als auch durch die Sicherheit ihrer Wirkung besonders werthvoll wird.

Man hat saugende und nichtsaugende Injecteure, also solche, bei welchen das Wasser aus der Bezugsquelle durch den Injector angesogen werden kann, und solche, bei denen das Wasser dem tiefer liegenden Injector von selbst zufließen muß. Die letztgenannten Injecteure sind die zuverlässigsten und einfachsten.

Die Fig. 272 und 273 zeigen einen nichtsaugenden Injector, wie er zur Speisung von Locomotiven häufig zur Anwendung kommt. Das Rohr D steht mit dem Dampfraume des Kessels, das Rohr W mit der Cisterne des Tenders und das Rohr K mit dem Wasserraume des Kessels in Verbindung.

Werden die die Rohre D und W schließenden Hähne oder Ventile geöffnet, so trifft der durch das erstere mit großer Vehemenz in den Injector strömende Kesseldampf bei seinem Eintritte in den Injector auf kaltes Wasser. Der Dampf condensirt in Folge dessen zu Wasser, welches die große Geschwindigkeit des Dampfes beibehalten würde, wenn es sich nicht mit dem langsam zufließenden Tenderwasser vermischte. Trotz dieser Vermischung bleibt die beiden Wassermassen gemeinsame Geschwindigkeit noch so groß, daß es durch ein an den Stutzen A befestigtes Mundstück wie aus einer Feuerspritze geschleudert wird.*)

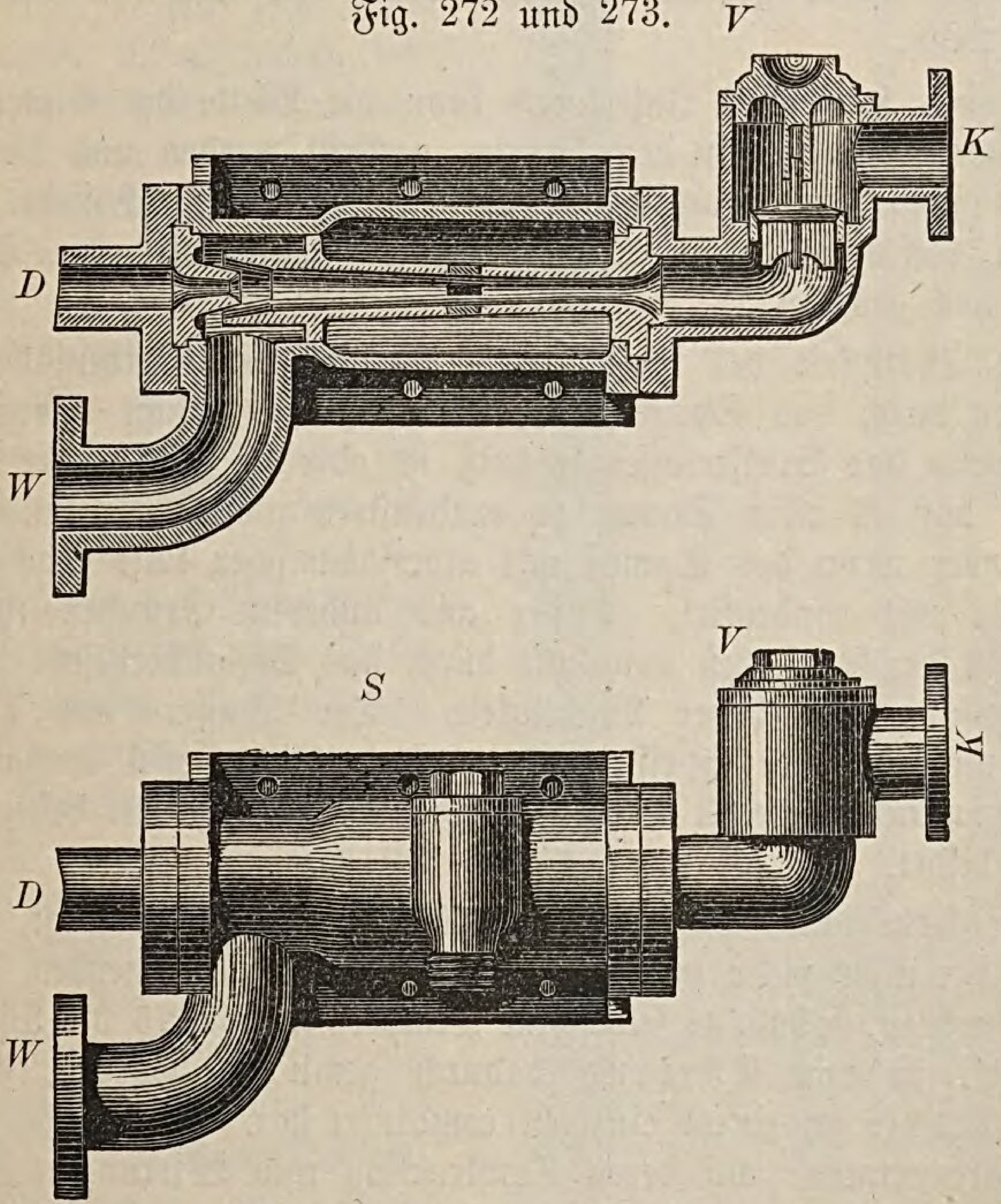
---

*) Anmerkung. Von der Benutzung des Injectors in dieser Weise als Feuerspritze, mehr aber noch des Wasserstrahls zum Reinigen von Wagen wird häufig Anwendung gemacht.

Es ist klar, daß das Wasser, wenn es behindert wird, bei K abzufließen, hier einen bedeutenden Druck ausübt, der genügt, den Gegendruck des Wassers aus dem Kessel zu überwinden.*)

Das Ventil V schließt sich, sobald der Injector abgestellt wird. Ist, wie das meist der Fall, am Kessel noch ein zweites Absperrventil vorhanden, so könnte es streng genommen fehlen, trotzdem ist

Fig. 272 und 273.



Injector.

auch in diesem Falle seine Anbringung rathsam, weil es eine erhöhte Sicherheit gegen einen Rückfluß des Kesselwassers bietet.

Außer mit diesem ist der Injector noch mit einem zweiten, dem sogenannten Schlabberventile versehen, welches in dem Ansatzstutzen S steckt. Fließt nämlich dem Injector durch das Rohr W so viel Wasser

*) Anmerkung. Bei guter Construction des Injectors fällt dieser Druck annähernd 1,5 mal größer aus als der Dampfdruck im Kessel.

zu, daß der Dampf nicht im Stande bleibt, es sämmtlich durch das enge Rohr im Injector zu treiben, so tritt das überschüssige Wasser durch die in diesem Rohre angebrachten Oeffnungen in den es umgebenden Raum und durch das Ventil S in's Freie. Fällt dagegen der Wasserzufluß zu gering aus, so wird das Rohr nicht ausgefüllt und würde durch obige Oeffnungen atmosphärische Luft angesogen und in den Kessel gedrückt werden, wenn das Ventil S nicht vorhanden wäre.

Bei den saugenden Injectoren kann die Weite der Eintrittsöffnungen des Dampfes in den Injector verstellt werden und dient ein anfangs schwacher Dampfstrahl zum Ansaugen des Wassers. Erst nachdem dieses aus dem Schlabberventile tritt, wird die Dampfleitung voll geöffnet.

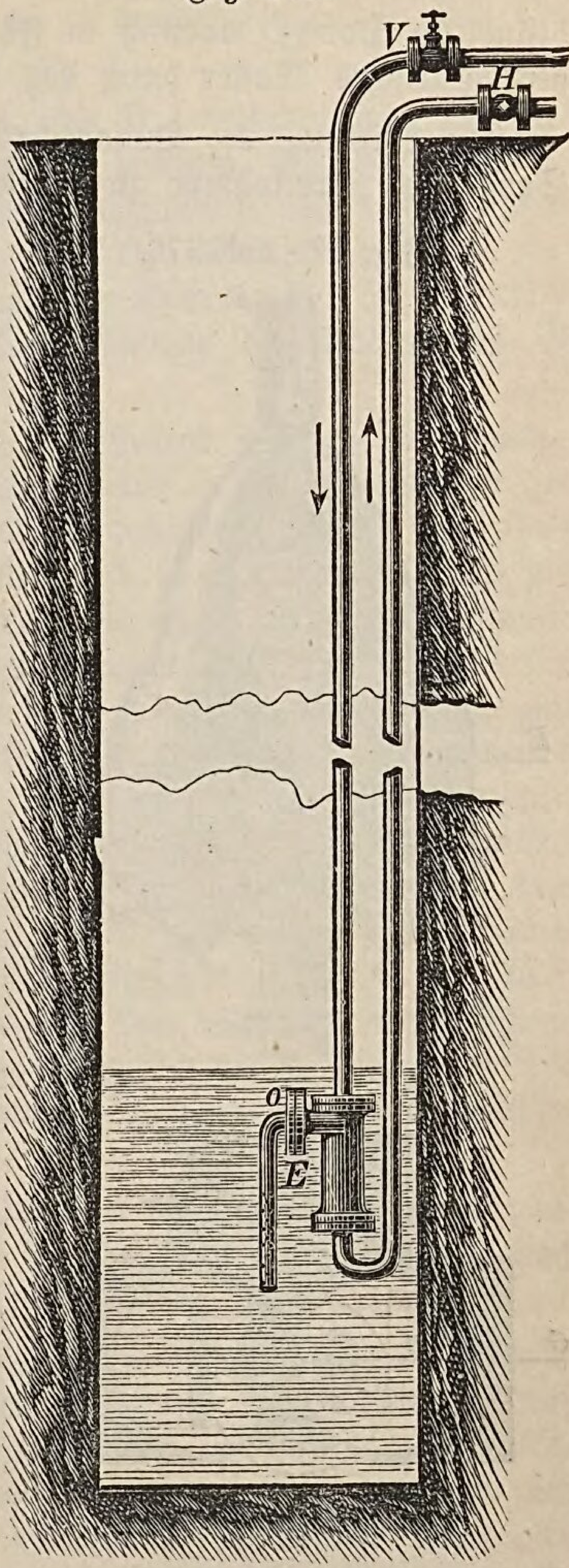
Die Thätigkeit des Injectors beruht auf der Condensation des Dampfes durch das Speisewasser, der Injector versagt demnach sowohl, wenn das Speisewasser so heiß ist oder in so geringer Menge zufließt, daß es allen Dampf zu condensiren nicht mehr im Stande bleibt, oder wenn der Dampf mit atmosphärischer Luft gemischt ist, die nicht mit condensirt. Außer aus anderen Gründen ist auch dieserhalb der Ausschluß von Luft durch das Schlabberventil bei der Kesselspeisung von hoher Wichtigkeit. Der Wasser- und Dampfzufluß muß bei der Speisung je nach der im Kessel vorhandenen Dampfspannung geregelt werden, wobei die Uebung den besten Lehrmeister bildet.

Der Uebelstand, daß der Injector den Dienst versagt, indem das Wasser nicht mehr im Stande bleibt, allen zuströmenden Dampf zu condensiren, sobald es selbst eine Temperatur von 25 bis 35 Grad übersteigt, ist von Körting dadurch gemindert worden, daß er zwei Injecteure zu einem einzigen combinirt hat. Solche sogenannte Universalinjectoren, auf deren Construction und Wirkungsweise hier näher einzugehen zu weit führen würde, arbeiten noch mit Speisewasser von Temperaturen bis zu 70 Grad Celsius.

Der Vortheil der Injecteure, daß sie das Speisewasser in heißem Zustande in den Kessel schaffen, erweist sich als ein Nachtheil, wenn eine Erhöhung der Temperatur nicht verlangt wird, weil die zur Erwärmung des Förderwassers erforderliche Kohle nutzlos verbrannt wird. Der Injector erfordert demnach ein erheblicheres Quantum von Kohlen, um die gleiche Wassermenge auf dieselbe Höhe zu heben, als eine durch eine Dampfmaschine getriebene Pumpe.

In neuerer Zeit hat man mehrfach Injecteure zum Füllen der Tender in Anwendung gebracht und dabei den Dampf der betreffenden Locomotiven als Betriebskraft benutzt. Wird das Rohr V der Fig. 274 mit einem Dampfhahne der Locomotive verbunden und das Rohr H über die Oeffnung der Tendercisterne geleitet, so fördert der im Brunnen unter Wasser an den betreffenden Röhren aufgehängte Injector E das Wasser des letzteren unmittelbar in den Tender, sobald die Ventile V und H geöffnet werden.

Fig. 274.



Injectoranlage.

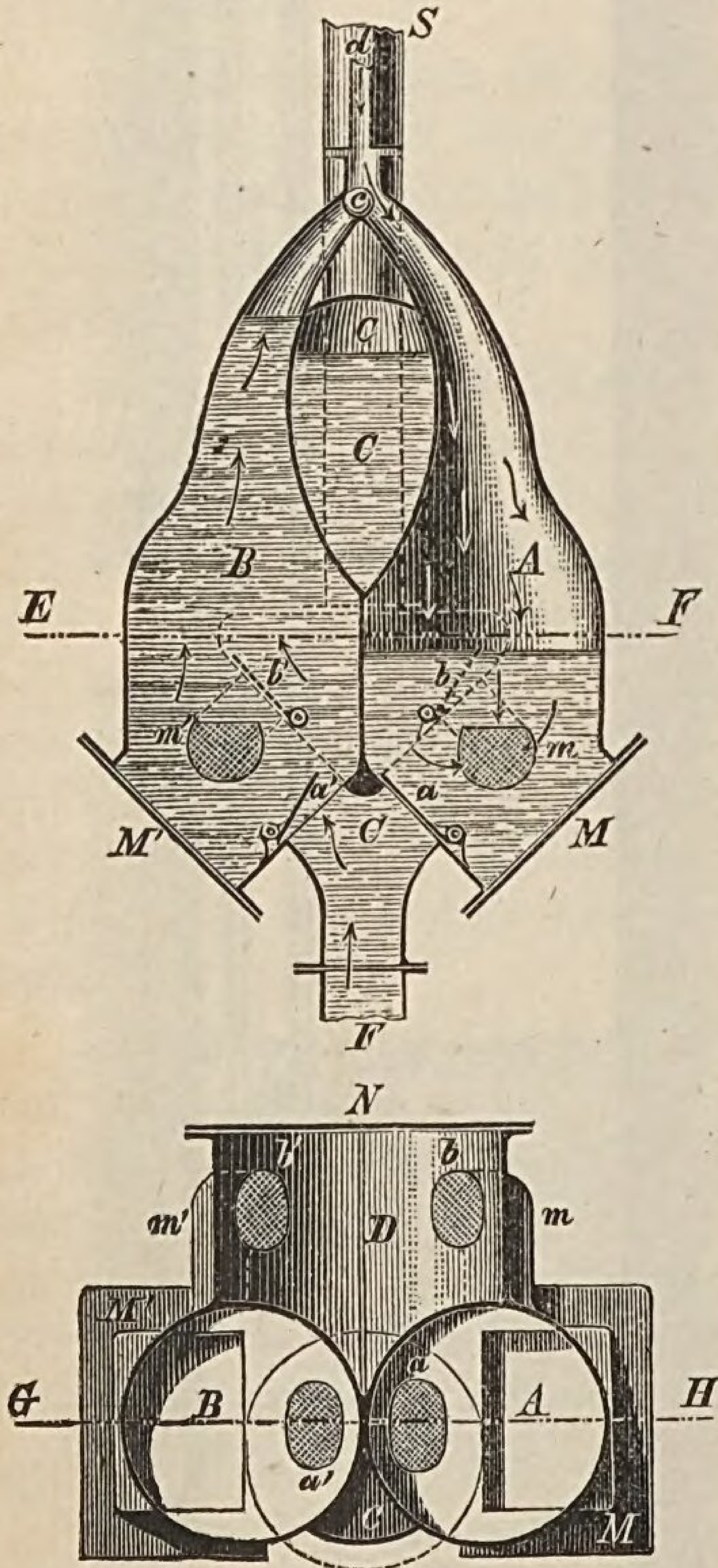
Wird in das Rohr V des vorigen Injectors an Stelle des Dampfes Wasser von hoher Spannung — etwa aus einer städtischen Leitung — geführt, so geht der Apparat in die mehrfach zur Anwendung gebrachte Wasserstrahlpumpe über, welche sich, sobald billiges Druckwasser mit genügender Spannung vorhanden ist, höchst vortheilhaft zur Entleerung von Baugruben, Kellern u. s. w. verwenden läßt.

Das Pulsometer ist eine der interessanten Wasserhebemaschinen. Dasselbe arbeitet ohne Kolben, indem der zu seinem Betriebe erforderliche Dampf direct auf das zu hebende Wasser drückt und dieses in die Steigrohrleitung preßt. Ist der betreffende Behälter geleert, so schließt

die Dampfleitung selbstthätig ab und condensirt der noch in ihm befindliche Dampf, wodurch in Folge der entstehenden Druckverminderung frisches Wasser durch das Saugrohr angesogen wird.

Die Wirkung des Pulsometers ist der einer einfach wirkenden Saug- und Druckpumpe zu vergleichen, nur daß zum Heben des Wassers bei ihm directer Dampfdruck an Stelle des Kolbens tritt und daß das Ansaugen des Wassers nicht durch die entsprechende Kolbenbewegung, sondern durch die Condensation des in der Wasserkammer — dem Pumpenstiefel der gewöhnlichen Pumpe — sich verdichtenden Dampfes erfolgt. Gleich den gewöhnlichen Pumpen ist das Pulsometer mit Saug- und Druckventilen versehen. Um eine continuirliche Wirkung hervorzubringen, sind stets zwei Wasserkammern mit getrennten Ventilen zu einem Pulsometer verbunden.

Fig. 275 und 276.



Pulsometer.

Die Fig. 275 und 276 stellen Linienskizzen des durchschnitten gedachten Pulsometers dar. A und B sind die beiden Wasserkammern und a und a′ die zu dem Saugrohre CF führenden Saugventile. Die Druckventile befinden sich in dem hinter A und B in einem getrennten und mit jenen durch die kurzen Rohre m und m′ verbundenen Raume D. In der Fig. 275 ist dieser Raum mit den beiden Ventilen und der Steigrohrleitung S punktirt angegeben.

Um Stöße bei dem Ansaugen des Wassers nach Möglichkeit zu vermeiden, ist die Saugrohrleitung noch mit einem Windkessel C versehen, welcher theilweise zwischen den Kammern A und B, zum

größeren Theile aber vor der Bildfläche der Figur 275 liegt und welcher durch die im Grundrisse mit C bezeichnete Leitung mit dem Saugrohre F zusammenhängt.

Die beiden Wasserkammern A und B vereinigen sich oben zu einem gemeinschaftlichen Rohrstutzen, welchem sich die Dampfleitung d anschließt. Die am Vereinigungspunkte beider angedeutete Kugel c versperrt je nach ihrer Lage dem Dampfe entweder den Zugang zu der Kammer A oder zu der Kammer B. In Fig. 275 ist die Kammer B abgesperrt. Die Wirkung des Pulsometers ist folgende:

Der Dampf gelangt bei dem dargestellten Zustande des Pulsometers durch das Rohr d in die Kammer A und preßt bei geschlossenem Saugventile a das in dieser befindliche Wasser durch das Rohr m und das geöffnete Druckventil b in den Raum D und die Druckrohrleitung S. Sobald der Wasserstand in A so weit gesunken ist, daß das Rohr m frei wird, entweicht der über dem Wasser stehende Dampf durch dieses Rohr rasch in die Druckrohrleitung und wird in Folge der dadurch entstehenden Druckverminderung die Kugel c von links nach rechts geworfen. Dadurch ist aber dem frischen Dampfe der Zugang zu dem Behälter B geöffnet und zu dem Behälter A geschlossen, es schließt sich also in Folge dessen unter dem Dampfdrucke das Ventil a′ und wird das Wasser aus der Kammer B in den Behälter D und die Druckrohrleitung S gepreßt. Inzwischen condensirt in dem Raume A der wenige dort noch vorhandene Dampf und erzeugt eine Luftleere, die das Ansaugen des Wassers durch das sich alsbald öffnende Ventil a, und so eine neue Füllung der Wasserkammer A bewirkt.

Ist das Wasser in der Kammer B bis zur Oeffnung m′ gesunken, so entweicht der Dampf, die Kugel c fällt von rechts nach links und das Spiel beginnt von Neuem.

Zur Vermeidung von Stößen, welche auftreten würden, sobald die Kammern A und B sich bis zur Kugel c mit Wasser füllen würden, und um ferner zu verhindern, daß mit der Zeit sämmtliche Luft aus dem Saugrohrwindkessel C entweicht, sind an letzterem und an den beiden Wasserkammern A und B Luftventile angebracht, welche nach innen öffnen und Luft in diese Räume eindringen lassen, sobald der Druck unter eine gewisse Grenze sinkt. Durch die mehr oder mindere Anspannung von Federn, welche diese Ventile geschlossen halten, kann der Druck, bei welchem das Oeffnen der Luftventile

erfolgt, nach den vorhandenen Saug- und Druckhöhen regulirt werden. Das Pulsometer würde auch ohne diese, von uns nicht mit angegebenen Luftventile arbeiten, es functionirt aber ruhiger und gleichmäßiger mit denselben.

Da ein Theil des zuströmenden Dampfes bereits bei dem Niederdrücken des Wassers in den Kammern A und B condensirt und so für die Nutzwirkung verloren geht, so ist der Vorwurf den man den Pulsometern macht, daß sie nämlich mehr Dampf verbrauchen als gewöhnliche Pumpen von gleicher Leistung, erklärlich. Es scheint übrigens der Einfluß der Luftventile auch in dieser Beziehung ein günstiger zu sein, indem die durch den Dampf erwärmte Luft die Wirkung des Dampfes selbst unterstützt.

Während man bezüglich der Druckhöhe nur durch die Spannung des Kesseldampfes beschränkt ist, erweist sich eine große Saughöhe für das Pulsometer als höchst nachtheilig. Eine Saughöhe von 1 bis 1,5 m scheint am vortheilhaftesten zu sein und eine Saughöhe von 3 m noch gute Resultate zu ergeben, während bei 5 m Saughöhe das Pulsometer häufig bereits versagt oder mindestens höchst unökonomisch arbeitet.

Als Vortheile des Pulsometers dürfen hauptsächlich aufgeführt werden die Einfachheit seiner Aufstellung, der geringe Platz, den es beansprucht, und der Umstand, daß es keine Betriebsmaschine, sondern nur die Aufstellung eines Kessels nöthig macht.

Ist auf einer Station keine andere Dampfkraft vorhanden, so kann der Dampf einer Locomotive in gleicher Weise, wie das bereits für Injecteure erörtert wurde, als Betriebskraft für das Pulsometer benutzt und das Wasser entweder direct in den Tender oder in die vorhandenen Wassercisternen gepumpt werden.

Statik luftförmiger Körper (Aerostatik).

Im Gegensatze zu flüssigen besitzen luftförmige Körper in so hohem Grade die Eigenschaft, unter Druck zusammengepreßt zu werden und nach dem Verschwinden des Druckes sich wieder auszudehnen, daß das Volumen, welches sie einnehmen, dem auf sie ausgeübten Drucke umgekehrt proportional ausfällt. Das Volumen hängt aber, außer von dem Drucke, auch noch von der Temperatur der Luft ab. Wird in einem Gefäße eingeschlossene Luft von t Grad auf t′ Grad

Celsius erwärmt, so steigt die frühere Spannung p auf p′ und findet unter p, p′ t und t′ die Beziehung

$$\frac{p'}{p} = \frac{273 + t'}{273 + t} \text{ statt.*)}$$

Von der Eigenschaft der Luft, daß ihre Spannung mit der Temperatur wächst, wird bei den Heißluftmaschinen (calorischen Maschinen) Gebrauch gemacht. Es ist bei diesen Maschinen für das Maß der anzuwendenden Erhitzung gleichgültig, ob die Erwärmung der Luft in dem Arbeitscylinder oder in einem besonderen Behälter und ob sie durch Heizung von außen oder unmittelbar erfolgt, indem in dem betreffenden Raume Kohlen, Petroleum oder Gas verbrannt werden. Dieselbe Erhitzung bewirkt stets dieselbe Spannungszunahme der Luft.

Beispiel. Es soll ermittelt werden, wie stark in einer calorischen Maschine die Luft von atmosphärischer Spannung und von einer Temperatur von 20 Grad Celsius erhitzt werden muß, damit die Spannung auf 2, 3 und 4 Atmosphären steigt.

Auflösung. Der Zahlenwerth von $\frac{p'}{p}$ unserer letzten Formel ist gleich 2, 3 und 4, je nach der verlangten Spannung, es wird demnach für $\frac{p'}{p}$ gleich 2:

$$2 = \frac{272 + t'}{273 + 20} = \frac{273 + t'}{293},$$

da t nach der Aufgabe 20 Grad betragen soll.

Ist aber $\frac{273 + t'}{293}$ gleich 2, so muß $273 + t'$ gleich 2 mal 293 oder gleich 586 und endlich die gesuchte Temperatur t′ gleich 586 weniger 273 oder gleich 313 Grad sein, es wird also eine Erwärmung der Luft auf 313 Grad Celsius oder auf 250 Grad Réaumur nothwendig, um ihre Spannung auf 2 Atmosphären zu steigern. Für eine Steigerung der Spannung auf 3 und 4 Atmosphären wird die Erhitzung der Luft auf 606 und 819 Grad Celsius oder auf 485 und 735 Grad Réaumur nothwendig.**)

---

*) Anmerkung. Die Zahl 273 in dieser Formel ist von besonderem Interesse. Man kann nämlich aus den Eigenschaften der Gase schließen, daß der absolute Nullpunkt des Thermometers, das ist der Punkt, bei welchem keine Wärme mehr vorhanden und unter welchen ein Herabgehen der Temperatur undenkbar ist, 273 Grad Celsius unter dem Nullpunkte des Thermometers von Celsius, oder 218 Grad unter dem Thermometer von Réaumur liegt. Wird die Temperatur von diesem absoluten Nullpunkte ab gerechnet, so wächst die Spannung der Gase proportional ihrer Temperatur.

**) Anmerkung. Die starke Erwärmung der Luft, welche nothwendig ist, um ihre Spannung auf ein für Arbeitszwecke brauchbares Maß zu erhöhen, erweist sich als die Hauptschwierigkeit, welche der allgemeineren

Gleichheit des Druckes der Luft nach allen Seiten. Luft, welche in einem Gefäße eingeschlossen ist, drückt in gleicher Weise, wie das bereits für Flüssigkeiten angeführt wurde, nach allen Richtungen hin gleich stark; gleich große Flächen des Gefäßes, z. B eines Dampfkessels, haben also die gleichen Pressungen auszuhalten.

Dynamik luftförmiger Körper (Aerodynamik).

Die Luft folgt bei ihrer Bewegung im Allgemeinen denselben Gesetzen, die wir für die Bewegung von Wasser kennen gelernt haben, nur werden die Erscheinungen dadurch geändert, daß die Luft ein erheblich geringeres Gewicht hat als Wasser, und daß die Luft ein elastischer Körper ist. Wir suchen diese Gesetze für den Ausfluß von Luft aus Gefäßmündungen und für ihre Bewegung in Röhren nicht auf, weil sie für die Zwecke dieses Werkes von minderer Wichtigkeit sind.

Berechnung des Widerstandes der Luft für Eisenbahnzüge. Luft, welche sich mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt, drückt auf eine lothrecht zur Windrichtung gestellte Fläche mit derselben Kraft, welche sie der Bewegung der Fläche mit gleicher Geschwindigkeit in ruhiger Luft entgegensetzen würde. Dieser Druck beträgt pro qm Fläche, wenn v die Geschwindigkeit des Windes auf den stillstehenden Zug bezeichnet, $0{,}1185\,v^2$ und, wenn v in Kilometern pro Stunde ausgedrückt wird, $0{,}009\,v^2$ kg. Ist v_1 die Geschwindigkeit des bei Windstille bewegten Zuges, so ergiebt sich in gleicher Weise die Widerstandsvermehrung durch den Wind zu $0{,}009\,v_1{}^2$ pro qm Stirnfläche des Zuges, wenn v_1 wieder in Kilometern pro Stunde ausgedrückt wird. Fährt ein Zug von A qm Stirnfläche *gegen* den Wind, so beträgt die Widerstandsvermehrung durch die Luft

$$0{,}009 \,.\, A\,(v + v_1)^2 \text{ kg},$$

und $$0{,}009 \,.\, A\,(v - v_1)^2 \text{ kg},$$

wenn der Zug *mit* dem Winde fährt.

Die Stirnfläche A eines Zuges darf nach der Einführung der großen Schutzdächer für Locomotiven zu durchschnittlich 5 qm angenommen werden, die letzten Formeln gehen demnach für den ganzen Zug in

$$0{,}045\ (v + v_1)^2 \text{ kg und in}$$

$$0{,}045\ (v - v_1)^2 \text{ kg über,}$$

Einführung von Heißluftmaschinen entgegensteht, denn es müssen entweder die Dimensionen der Maschine sehr groß gewählt werden, um bei geringem Drucke erhebliche Arbeitsleistungen zu erzielen, oder es muß mit dem größeren Drucke die Erhitzung so sehr steigen, daß derselben kein Schmiermaterial auf die Dauer widerstehen kann und daß die Maschinentheile stark leiden und durch Wassercirculation abgekühlt werden müssen. Durch letztere wird aber gleichzeitig auch die erwärmte Luft wieder abgekühlt, es geht also ein Theil der Pressung verloren. Außerdem compliciren die betreffenden Einrichtungen die Maschine und machen die Beschaffung von Kühlwasser nothwendig.

jenachdem sich der Zug gegen oder mit der Richtung des Windes bewegt.

Aufgabe. Es sollen die Einflüsse ermittelt werden, welche die Luft auf Eisenbahnzüge ausübt, welche sich mit 30, 60 und 90 km Geschwindigkeit gegen und mit der Richtung des Windes bewegen, wenn die Geschwindigkeit des letzteren 5 m pro Sekunde, d. i. gleich 18 km pro Stunde beträgt.

Auflösung. Für die Bewegung des Zuges gegen den Wind ergiebt sich die Widerstandsvermehrung zu

a) $0{,}045\ (18 + 30)^2 = 0{,}045 \,.\, 2304 = 104$ kg

für den Zug mit 30 km Geschwindigkeit,

b) $0{,}045\ (18 + 60)^2 = 0{,}045 \,.\, 6084 = 274$ kg

für den Zug mit 60 km Geschwindigkeit, und zu

c) $0{,}045\ (18 + 90)^2 = 0{,}045 \,.\, 11664 = 525$ kg

für den Zug mit 90 km Geschwindigkeit.

Bewegt sich der Zug mit dem Winde, so berechnen sich die betreffenden Widerstände zu

a¹) $0{,}045\ (30 - 18)^2 = 0{,}045 \,.\, 144 = 6^1/_2$ kg

für den Zug mit 30 km Geschwindigkeit,

b¹) $0{,}045\ (60 - 18)^2 = 0{,}045 \,.\, 1764 = 75$ kg

für den Zug mit 60 km Geschwindigkeit und zu

c¹) $0{,}045\ (90 - 18)^2 = 0{,}045 \,.\, 5184 = 233$ kg

für den Zug mit 90 km Geschwindigkeit.

Um zu ermitteln, welchen Theil der Kraft der Locomotive die Ueberwindung des Luftwiderstandes beansprucht, möge angenommen werden, dieselbe arbeite mit 300 Pferdekräften.

Ein Zug, welcher mit v km Geschwindigkeit pro Stunde fährt, bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $\frac{v}{3{,}6}$ Metern pro Sekunde, man erhält demnach die Arbeit, welche zur Ueberwindung des Luftwiderstandes erforderlich ist, zu $\frac{v}{3{,}6} \cdot p$ Meterkilogrammen, wenn p den früher berechneten Luftwiderstand bezeichnet, oder zu

$$\frac{v \,.\, p}{3{,}6 \,.\, 75} = \frac{v \,.\, p}{270} \text{ Pferdekräften,}$$

da 75 mkg pro Sekunde einer Pferdekraft entsprechen.

Dieser Ausdruck ergiebt aber für die sich gegen die Richtung des Windes bewegenden Züge, wenn für v und p die früheren Werthe benutzt werden,

$$\frac{30 \,.\, 104}{270} = 11{,}5 \text{ Pferdekraft oder } \frac{11{,}5 \,.\, 100}{300} = 4\,\%,$$

$$\frac{60 \,.\, 274}{270} = 61 \text{ Pferdekraft oder } \frac{61 \,.\, 100}{300} = 20\,\% \text{ und}$$

$$\frac{90 \,.\, 525}{360} = 175 \text{ Pferdekraft oder } \frac{175 \,.\, 100}{300} = 58\,\%$$

der überhaupt vorhandenen Kraft, und für die sich mit der Windrichtung bewegenden Züge

$$\frac{30 \,.\, 6^1/_2}{270} = {}^2/_3 \text{ Pferdekraft oder } \frac{100 \,.\, {}^2/_3}{300} = 0{,}22\,\%$$

$$\frac{60 \cdot 79}{270} = 18 \text{ Pferdekraft oder } \frac{18 \cdot 100}{300} = 6\% \text{ und}$$

$$\frac{90 \cdot 233}{270} = 78 \text{ Pferdekraft oder } \frac{78 \cdot 100}{300} = 26\%$$

der überhaupt vorhandenen Kraft.

Windseitendruck wirkt schädlicher auf die Vermehrung des Zugwiderstandes als Windkopfdruck; er wächst der Seitenfläche des Zuges proportional, wird daher größer für Güterzüge als für Personenzüge und erheblicher für Züge aus bedeckten, als für solche aus offenen Wagen.

Die Beobachtungen bezüglich der Seitenwinde auf die Vermehrung des Zugwiderstandes sind noch mangelhaft. Nach Versuchen, die auf der Köln-Mindener Bahn in den Jahren 1865—1870 mit Güterzügen angestellt sind, fällt die in dem Gesammtwinddrucke auf die Wagen ausgedrückte Widerstandsvermehrung für beladene Wagen erheblicher aus als für unbeladene Wagen, sie wächst ferner etwas rascher als der Winddruck und vermindert sich mit wachsender Zuggeschwindigkeit.*)

Bezeichnet P den Gesammtwinddruck auf die Seitenfläche eines Zuges, so vermehrt nach den K. M. Versuchen der Wind den Widerstand von Güterzügen, welche aus offenen Wagen bestehen, um

0,15 . P kg, wenn die Wagen nicht beladen, und um
0,25 . P kg, wenn die Wagen beladen sind.

Auf das Gewicht des Zuges bezogen, wird der Widerstand pro Tonne Zuggewicht durch Seitenwinde vermehrt um

0,25 . p kg bei unbeladenen offenen Güterwagen,
0,15 . p kg „ beladenen „ „
0,5 . p kg „ unbeladenen bedeckten Wagen und um
0,3 . p kg „ beladenen „ „ ,

wenn p den Winddruck in Kilogrammen pro qm Seitenfläche des Zuges bezeichnet.

---

*) Anmerkung. Diese Erscheinung läßt sich durch den Umstand erklären, daß Seitenwind die Schwankungen der Fahrzeuge vermindert. Diese Schwankungen und damit der entsprechende Theil des Zugwiderstandes fallen aber für unbeladene und rasch fahrende Züge größer aus als für beladene mit geringerer Geschwindigkeit, die erheblichere Verminderung des Gesammtwiderstandes mit den Schwankungen durch Seitenwind fällt demnach für die erstgenannten Züge mehr ins Gewicht als für die letztgenannten. Bezüglich der Vermehrung des Zugwiderstandes durch Curven haben die K. M. Versuche ähnliche Resultate ergeben, die sich in gleicher Weise erklären lassen.

Nimmt man die Geschwindigkeit eines Windes, welcher eben zum Betriebe einer Windmühle für Getreide ausreicht, zu 4 m pro Sekunde, eines für solche Mühlen gut passenden Windes zu 7 m pro Sekunde und eines Windes, bei welchem sich das Stillstehen der Mühle empfiehlt, zu 10 m pro Sekunde an, so berechnet sich p für diese drei Windstärken zu 1,9 kg, 5,8 kg und zu 12 kg und wird, wenn der Widerstand der betreffenden Züge in horizontaler Strecke und bei Windstille zu 3 kg pro Tonne angenommen wird, dieser Zugwiderstand durch obige drei Windstärken vermehrt um

15, 48 und 100 %, wenn er aus unbeladenen offenen Güterwagen,
9,5, 29 „ 60 %, wenn er aus beladenen offenen Güterwagen,
32, 96 „ 200 %, wenn er aus unbeladenen bedeckten Güterwagen,
19, 58 „ 120 %, wenn er aus beladenen bedeckten Güterwagen besteht.

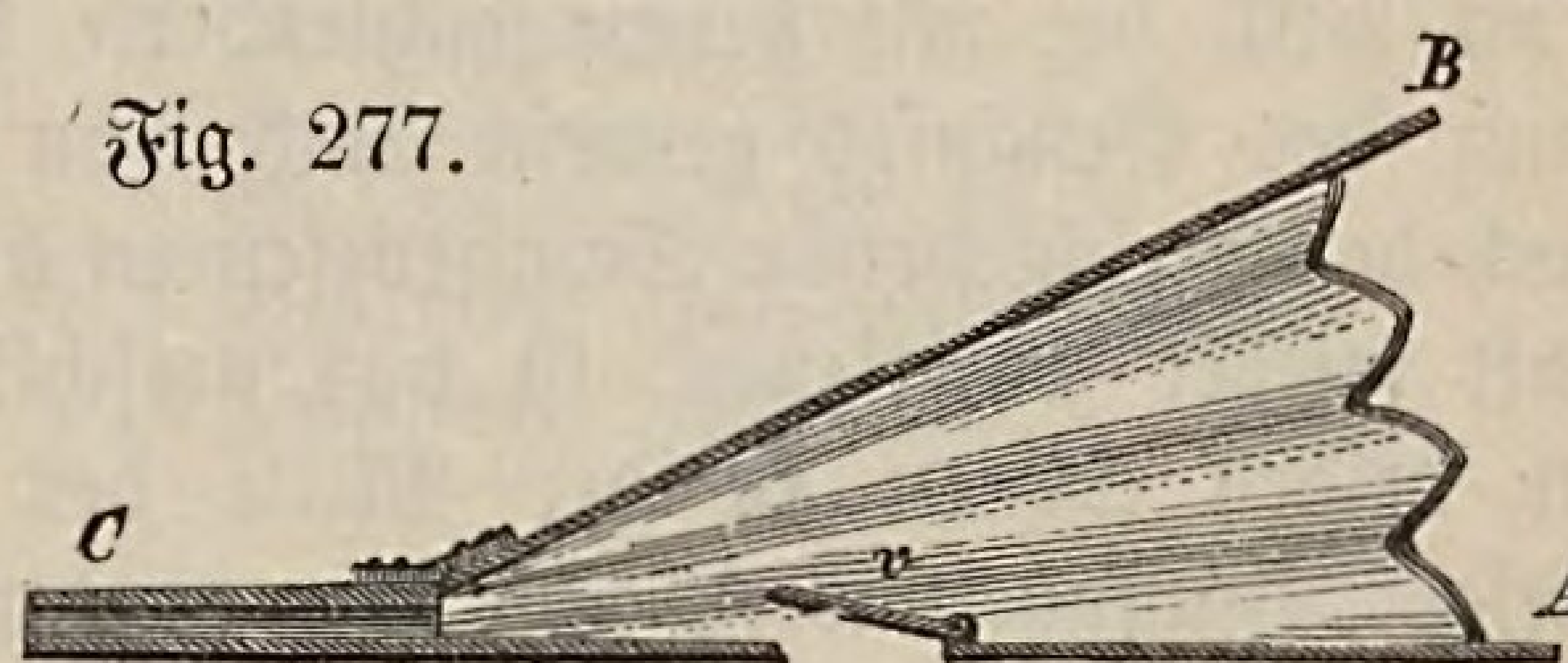
Während einerseits der Wind durch Vergrößerung des Zugwiderstandes dazu beiträgt, die Betriebskosten zu erhöhen, hat man ihn andrerseits für Eisenbahnzwecke durch Anlegung von Windmühlen zum Betriebe von Pumpen nutzbar gemacht.

Gebläsemaschinen. Diese dienen dazu, Luft in Bewegung zu setzen. Man unterscheidet drei Abänderungen: Blasebalg, Centrifugalgebläse, und Cylindergebläse.

Das Cylindergebläse dient zur Erzeugung größerer Windpressungen, als sie außer beim Tunnel-Bau, im Eisenbahnbetriebe vorkommen; es genügt, dasselbe erwähnt zu haben.

Der Blasebalg, Fig. 277, besteht aus zwei durch Leder so mit einander verbundenen Brettern A und B, daß der umschlossene Raum leicht vergrößert und verkleinert werden kann. Das untere Brett A hat eine Ventilklappe v, welche sich bei dem Auseinanderziehen der Bretter öffnet und Luft in den Blasebalg läßt, bei dem Zusammendrücken der Bretter dagegen sich schließt. Die eingeschlossene Luft kann dabei nur durch die Düse C entweichen.

Fig. 277.

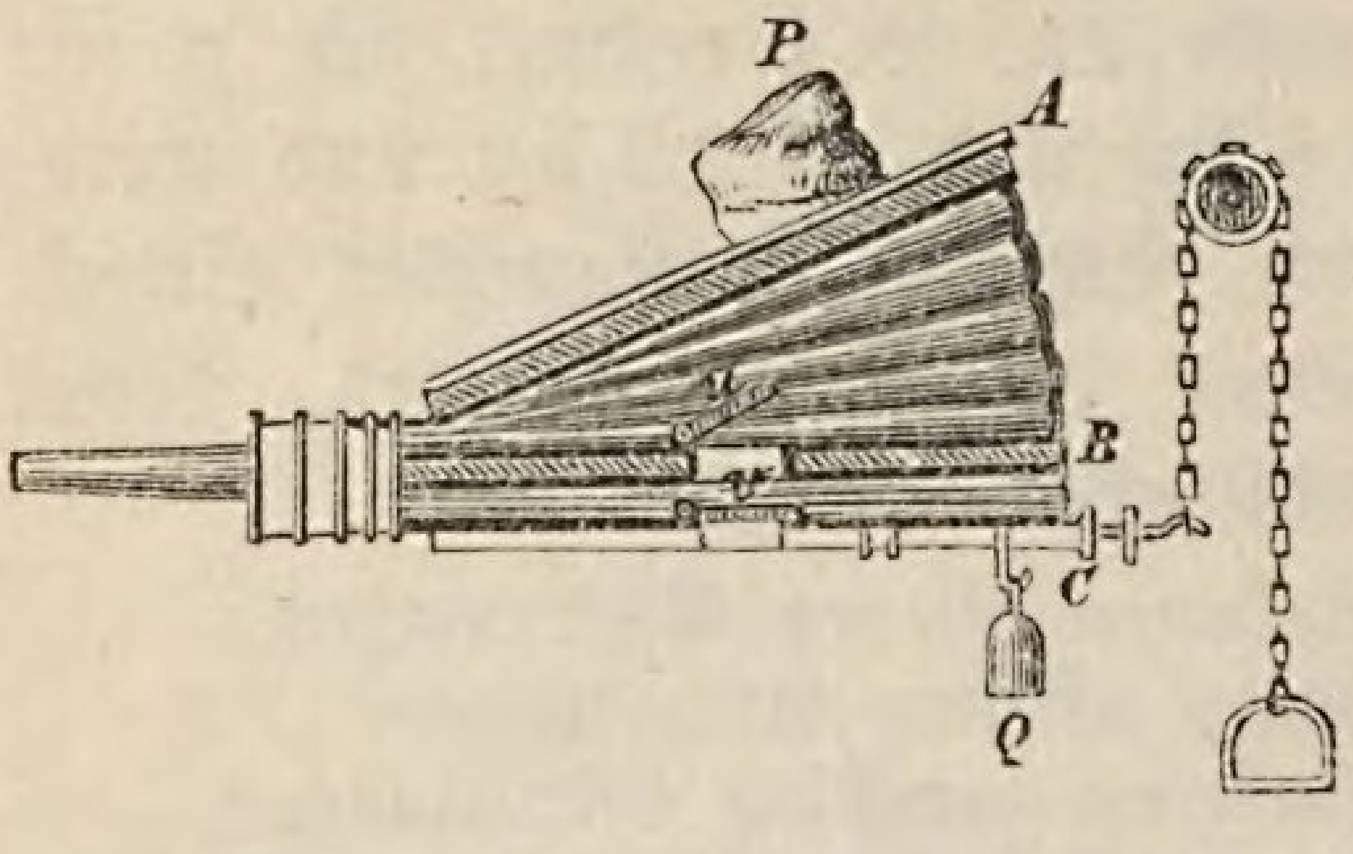


Der Uebelstand, daß bei dem Auseinanderziehen der Bretter A und B der Windstrom nicht nur unterbrochen ist, sondern daß sogar ein Ansaugen des Feuers durch die Düse stattfinden würde, macht ihn ungeeignet zum Betriebe von Schmiedefeuern. Für letztere kommt daher der doppelte Blasebalg zur Anwendung, Fig. 278.

Derselbe besteht aus zwei übereinander liegenden einfachen Blasebälgen mit einer gemeinschaftlichen Zwischenwand B, welche gleich-

zeitig der Vorrichtung als Stütze dient. Wird der untere Blasebalg, welcher nur dazu dient, dem oberen Wind zuzuführen, zum Ansaugen von Luft geöffnet, indem man durch Nachlassen der Kette dem Gewichte Q mit der Platte C das Herabsinken gestattet, so füllt er sich durch die Ventilplatte v mit Luft. Gleichzeitig schließt sich die Ventilplatte u unter dem im oberen Blasebalge herrschenden größeren Drucke, es wird also allein durch den unteren Blasebalg Luft angesogen.

Fig. 278.



Durch Anziehen der Kette hebt sich die Platte C des unteren Blasebalges, die in ihm befindliche Luft wird zusammengepreßt und durch das Ventil u in den oberen Blasebalg gedrückt. Da in diesem die Luftpressung durch die Belastung mit dem Steine P constant ist, so findet eine gleichmäßige Ausströmung der Luft aus der Düse des oberen Blasebalges statt.

Wegen der Unbequemlichkeit der Bedienung der Blasebälge, von denen für ein jedes Schmiedefeuer ein Exemplar nöthig wird, haben größere Schmiedewerkstätten meist einen sog. Centrifugalventilator. Dieser besteht aus einem Flügelrade, welches sich in einem es umschließenden Gehäuse mit großer Geschwindigkeit (1500 bis 3000 Umdrehungen pro Minute) dreht. In Folge der Centrifugalkraft wird die mit herumgeschleuderte Luft gegen den äußeren Umfang des Gehäuses gepreßt und von hier durch eine Windleitung nach den verschiedenen Schmiedefeuern hingeleitet. Um die fortgeleitete Luft wieder zu ersetzen, ist das umschließende Gehäuse an einer oder an beiden Seiten in der Mitte des Rades durchbrochen. Durch diese Oeffnungen wird die Luft in demselben Grade nach der Mitte des Rades zu angesogen, in welchem sie nach dessen Umfange fortgeschleudert wird.

Die mit Ventilatoren zu erzielende Windpressung wächst mit dem Quadrate der Zahl der Umdrehungen des Windrades und, für Räder mit verschiedenen Durchmessern aber gleicher Zahl der Umdrehungen, den Durchmessern der Räder proportional.

Alphabetisches Sach-Verzeichniß

des

ersten Bandes.

A.

Abgestumpfter Kegel 42.
Abgestumpfte Pyramide 41.
Abscheerungsfestigkeit 153.
Absolute Festigkeit 153.
Accumulator 193. 196.
Achse 39. 40.
Achse, neutrale 159.
Addition 15. 21.
Adhäsion 51.
Aërostatik 246.
Aggregatzustände 51.
Allgemeine Eigenschaften der Körper 48.
Amerikanische Röhren 234.
Ansauger 215.
Ansicht 4.
Aräometer 200—202.
Arbeit 179.
Arbeitseinheit 120.
Arithmetik 25—26.
Atmosphäre 55.
Atmosphärische Luft 54.
Auflösen von Gleichungen 25.
Aufriß 4.
Auftrieb des Wassers 199.
Ausdehnbarkeit 48.
Ausdehnung 60.
Ausflußgeschwindigkeit 204.
Ausladung, von Krähnen 123.

B.

Bahnneigung 150—152.
Barometer 54.
Barometer, Gefäß- 55.
Barometer, Heber- 55.
Barometrische Höhenmessung 56.
Abessinischer Brunnen 234.
Beharrungsvermögen 50.
Beschleunigung 178.
Bewegung 174.
Bewegung des Wassers 205. 207.
Bezeichnung der Farben 11.
Blasebalg 251.
Bockwinde 112.
Bogenstück 36.
Bremsband 142.
Bremsscheibe 115.
Brennpunkte 46.
Bruchgrenze 153.
Brückenwaage 83. 89.
Brunnen, abessinischer 234.
Brunnen, Zieh- 210.

C.

Calorie 62.
Calotte 43.
Calottenoberfläche 44.
Capillarität 51.
Celsius 59.
Centesimalwaage 89. 91.
Centigramm 50.
Centimeter 26.
Centner 50.
Centrifugalkraft 183.
Centrifugalventilator 252
Centriwinkel 35.
Centrum 35.

Cohäsion 51.
Communizirende Gefäße 52.
Cubikcentimeter 38.
Cubikmeter 38.
Cubikmillimeter 38.
Cubikstab 38.
Cubus 20. 38.
Cylinder 39.
Cylindergebläse 251.
Cylinder, Hohl= 45.
Cylinderinhalt 39.
Cylindermantel 39.
Cylinderoberfläche 40.
Cylinderschnitte 46.

D.

Dampf 61.
Dampfkochtopf 163.
Dampfkrahn 123.
Dampfstrahlpumpe 240.
Dampf, Volumen des 64.
Dampfwinde 118.
Decagramm 49.
Decameter 26.
Decigramm 50.
Decimalwaage 83. 87.
Diameter 35.
Dichtigkeit 50.
Differentialflaschenzug 108.
Division 22.
Doppelarmiger Hebel 76.
Doppelt wirkende Pumpe 224.
Drehkrahn 128. 134.
Drehmoment 79.
Dreieck 32.
Druckpumpe 224.
Durchmesser 35. 43.
Durchschnittsfiguren 9.
Dynamik fester Körper 174.
Dynamik flüssiger Körper 204.

E.

Ebene, schiefe 142.
Ecke 31.
Ehrhardt's Waage 98.
Eigenschaften der Körper 47.
Einarmiger Hebel 76.
Einheit, Arbeits= 180.
Einheit, Flächen= 32.
Einheit, Gewichts= 49.
Einheit, Kraft= 180.
Einheit, Längen= 26.
Einheit, Wärme= 62.
Elastische Körper 52.
Elastizitätsgrenze 153.
Elastizitätsmodul 154.
Ellipse 46. 47.

F.

Fahrbarer Krahn 130.
Fahrenheit 59.
Fairbairn=Krahn 126.
Fallrohrleitung 194.
Farbenbezeichnung 11.
Faserschicht, neutrale 159.
Faß 38.
Faß, Inhalt des 45.
Federwaage 105. 172.
Feste Körper 51. 52.
Feste Rolle 106.
Festigkeit, Abscheerungs= 153.
Festigkeit, relative 152.
Festigkeit, rückwirkende 152.
Festigkeit, Torsions= 153. 171.
Festigkeit, Verdrehungs= 153. 171.
Festigkeit, Zerknickungs= 170.
Festigkeit, Zerreiß= 152.
Festigkeit, absolute 153.
Festigkeit der Materialien 153.
Festigkeitsmodul 154.
Festigkeitstabelle 157.
Feuerspritze 223. 234.
Fläche, Seiten= 37.
Flächen 30.
Flächeninhalte 31—34.
Flächeninhalte 46—48.
Flächenmaße 32.
Flaschenzug, Differential= 138.
Flaschenzüge 107. 108.
Fliehkraft 183.
Flüssige Körper 51. 53.
Formel 16.
Fünfeck 31.
Fundamentalbstand 59.

G.

Gasförmige Körper 51. 53.
Gebläse, Cylinder= 251.

Gebläsemaschine 251.
Gebundene Wärme 62.
Gefäßbarometer 55.
Gefäße, communizirende 52.
Gefrierpunkt 59.
Gegenwinkel 29.
Geometrie 26—48.
Geometrische Zeichnung 1.
Geschwindigkeit 178.
Geschwindigkeit, Parallelogramm der 176.
Gewicht 49.
Gewichte 102.
Gewichte, Medizinal= 123.
Gewicht, spezifisches 200.
Gewichtseinheit 49.
Giftheber 58.
Gleitende Reibung 187.
Gleichung 16. 23.
Grad 28.
Gradbogen 28.
Grade 59.
Grade, Wärme= 59.
Grade, Winkel= 28.
Goldene Regel 80.
Gramm 49.
Größe 48.
Größe. natürliche 1.
Grundfläche 37,
Grundkanten 38.
Grundriß 4.
Grundrißzeichnung 6.

H.

Haarröhrchen 52.
Haarröhrchenanziehung 53.
Halbleiter 65.
Halbkugel 43.
Halbmesser 35.
Handkrahn 124.
Harte Körper 52.
Hebel 76.
Hebel, doppelarmiger 76.
Hebel, einarmiger 76.
Hebelgesetz 76.
Heber 56.
Heber, Stoß= 289.
Heberbarometer 55.
Hebervorrichtung 208.
Hectameter 27.
Hectoliter 38.
Heiß 58.
Hitzemesser 60.
Höhenmessung, barometrische 56.
Hohlcylinder 45.
Hohlkugel 45.
Hubhöhe 123.
Hydraulischer Krahn 123. 192.
Hydraulische Presse 191.
Hydraulischer Widder 239.
Hydromechanik 204.
Hydrostatik 190.
Hyperbel 47.

J.

Injector, siehe Dampfstrahlpumpe.

K.

Kabelwinde 112.
Kältegrade 59.
Kältemischung 62.
Kalt 58.
Kanne 31.
Kavalierperspective 4.
Kavalierperspectivische Ansicht 4.
Kanten 37.
Kegel 41.
Kegel, abgestumpfter 42.
Kegelfläche 40.
Kegelmantel 41.
Kegelschnitte 47.
Keil 144.
Ketten 26. 172.
Kilogramm 49.
Kilogramm, Meter= 180.
Kilometer 26.
Kniehebelpresse 68.
Klammern 21.
Körper 37. 48. 52. 68.
Körper, Eigenschaften der 47.
Körper, feste 51. 52.
Körper, flüssige 51. 53.
Körper, gasförmige 51. 53.
Körpermaße 38.
Krähne 123.
Krähne, Ausladung 138.
Krähne, Handhabung 140.
Krähne, Untersuchung 138.

Krämerwaage 81.
Kraft 65. 178. 179. 181.
Krahn, Dampf= 123.
Kraft, Centrifugal= 183.
Kraft, lebendige 181.
Kräfte, Parallelogramm der 67.
Kraft, Schwer= 49.
Kräfte, Zerlegung von 67.
Kräfte, Zusammensetzung von 67. 71.
Krahn, hydraulicher 123. 192.
Krahn, Lauf= 137.
Kraft, Pferde= 181.
Krahn, Dreh= 128. 134.
Krahn, Fahrbarer 130.
Krahn, Fairbaine= 126.
Krahn, Transportabler 123.
Krahnwaage 96.
Kreis 35.
Kreisabschnitt 35.
Kreisausschnitt 37.
Kreis, Kugel= 43.
Kreisring 37.
Kreisumfang 35.
Krumme Fläche 30.
Kühl 58.
Kugel 43.
Kugelabschnitt 43.
Kugelausschnitt 43. 44.
Kugelcalotte 43.
Kugel, Halb= 43.
Kugelhaube 43.
Kugelinhalt 44.
Kugelkreis 43.
Kugeloberfläche 43.
Kugelzone 43. 44.

L.

Längenmaße 26—27.
Latente Wärme 62.
Laufkrähne 137.
Lebendige Kraft 181.
Libelle 203.
Linie 26.
Liter 38.
Locomotivwindebock 147.
Lose Rolle 106.
Loth 49.
Luft 54.

M.

Manometer 56.
Mantelfläche 39. 40.
Maße 178.
Maßeinheit 26.
Maße, Flächen= 32.
Maße, Körper= 38.
Maße, Längen= 26.
Mechanik 65.
Medizinalgewicht 103.
Meile 26.
Meter 26.
Meterkilogramm 180.
Milligramm 50.
Millimeter 26.
Minute 28.
Mischung, Kälte= 62.
Mittelpunkt 43.
Multiplication 21.
Myriameter 37.

N.

Natürliche Größe 1.
Nebenwinkel 29.
Neigung der Bahn 150—152.
Neuloth 49.
Neutrale Achse 159.
Neutrale Faserschicht 159.
Nivellirlatte 53.

O.

Obere Ansicht 4.
Oberfläche 37. 43.

P.

Papin's Dampfkochtopf 163.
Parabel 47.
Parallele Linien 26.
Parallelepiped 38.
Parallelogramm 32.
Parallelogramm der Geschwindigkeit 176.
Parallelogramm der Kräfte 67.
Paternosterwerk 211.
Peripherie 35.
Pferdekraft 181.
Pfund 50.
Physik 48.
Poren 48.

Porosität 48.
Potenz 20.
Proportionen 23.
Presse, Hydraulische 191. 192.
Presse, Kniehebel= 68.
Pressen 191.
Prozent=Aräometer 201.
Prysma 38.
Punkt 26.
Pulsometer 243.
Pumpen 213.
Pumpen, Dampfstrahl= 240.
Pumpen, doppelt wirkende 224.
Pumpen, Druck= 224.
Pumpenkolben 184. 220.
Pumpen, Leistung der 218.
Pumpenstiefel 213.
Pumpensysteme 238.
Pyramide 40.
Pyramide, abgestumpfte 41.
Pyrometer 60.

Q.

Quadrat, 20. 32.
Quecksilber=Manometer 56.
Quecksilber=Thermometer 59.

R.

Radius 35.
Ramme 235.
Raute 33.
Reaumur 59.
Rechteck 33.
Rechter Winkel 28.
Regeldetri 23.
Regel, goldene 80.
Relative Festigkeit 152.
Reibung 184.
Reibung, gleitende 184. 187.
Reibung, rollende 184. 187.
Reibungscoeficient 184. 185.
Reibung, Zapfen= 186.
Reibung, Zapfen= 187.
Rhombus 33.
Ring 43.
Röhren, Amerikanische 234.
Röhreninhalt 39.
Römische Waage 81.
Rohrleitung, Fall= 194.
Rohrverbindung für Pumpen 223.
Rolle, feste 106.
Rolle, lose 106.
Rollende Reibung 187.
Rückwirkende Festigkeit 152.

S.

Saugfähigkeit 52.
Saughöhe 216.
Saugkorb 217.
Saugpumpe 56. 224.
Schattenconstruction 7.
Scheffel 38.
Scheitel 27. 47.
Scheitelwinkel 29.
Schiefe Ebene 161.
Schenkel 27.
Schlagschatten 6.
Schlittenwinde 146.
Schöpfrad 210.
Schmelzen 61.
Schmelzpunkt 61. 62.
Schnellwaage 81. 83.
Schoppen 38.
Schraube 144.
Schwere 48.
Schwerkraft 49.
Schwerpunkt 73—76.
Sechseck 31.
Sehne 35.
Seile 172.
Seiltrommel 113. 123.
Seiten 31.
Seitenansicht 4.
Seitenfläche 37.
Seitenkanten 37.
Sekunde 21.
Senkblei 48.
Senkrechte 30.
Setzwaage 48.
Sicherheitsmodul 155.
Sieden 61.
Siedepunkt 59.
Sperrklinke 113.
Sperrrad 112.
Spezifisches Gewicht 200.
Spezifisches Volumen des Dampfes 64.
Spezifische Wärme 64.
Spitzer Winkel 28.

Spröde Körper 52.
Stab 26.
Statik fester Körper 67.
Statik flüssiger Körper 190.
Statik luftförmiger Körper 246.
Stechheber 56.
Stiefel, Pumpen= 213.
Stoßheber 239.
Strich 26.
Stumpfer Winkel 28.
Subtraction 21.

T.

Tafelwaage 104.
Temperatur, siehe Wärme.
Theilbarkeit 48.
Thermometer 59.
Tonne 50.
Torsionsfestigkeit 153. 171.
Trägheit 50.
Trägheitsmoment 161.
Transportabler Krahn 123.
Transporteur 28.
Trapez 33.
Trapezoid 35.

U.

Uebersetzungsverhältniß 111.
Undurchdringlichkeit 50.
Unelastische Körper 52.

V.

Ventilator 252.
Verdrehungsfestigkeit 153.
Verschiebbarkeit 53.
Vertical 49.
Vieleck 31.
Viereck 31—34.
Volumen des Dampfes 64.
Vorderansicht 4.
Vorgelege 111.
Vorgelegewelle 111.

W.

Waage 80.
Waage, Brücken= 83. 89.
Waage, Centesimal= 89. 91.
Waage, Ehrhardt's 98.
Waage, Feder= 105. 172.
Waage, Prüfung 105.
Waage, römische 81.
Waage, Schnell= 81. 83.
Waage, Setz= 48.
Waage, Tafel= 104.
Waage, Wasser= 203.
Waage, Zeiger= 95.
Waagerecht 59.
Wärme 58.
Wärme, gebundene 62.
Wärmecapazität 64.
Wärmeeinheit 62.
Wärmegrade 59.
Wärme, latente 62.
Wärmeleiter 65.
Wärmeleitung 65.
Wärme, spezifische 64
Wagenwinde 112.
Wagenwindebock 147.
Wahre Größe 1.
Wandaufziehmaschine 118.
Wandkrahn 123.
Wasserhebung 108.
Wasserschraube 212.
Wasserwaage 203.
Wechselwinkel 27.
Weiche Körper 52.
Widder 239.
Widerstand der Luft 248.
Widerstandsmoment 162.
Winden 109. 112. 118. 149.
Windebock, Locomotiv= 149.
Windebock, Wagen= 147.
Winde, Bock= 112.
Winde, Dampf= 118.
Winde, Kabel 112.
Winde, Schlitten= 146.
Windkessel 216.
Windmühlen 251.
Windkopfdruck 250
Windseitendruck 250.
Winkel 27.
Winkel, Centri= 35.
Winkel, Gegen= 29.
Winkelhebel 78.
Winkelheber 57.
Winkelheber 28. 29.
Winkelmesser 28
Winkel, Neben= 29.
Winkel, Scheitel= 29.

Winkel, Wechsel= 27.
Würfel 38.
Wurfräder 210.
Wurfschaufel 210.

Z.

Zapfenreibung 187.
Zeichnenkunde 1—15.
Zeichnenmethode 1.
Zeichnungen, geometrische 1.
Zeichnungen, perspektivische 1.
Zeigerwaage 95.
Zerdrückungsfestigkeit 152.
Zerknickungsfestigkeit 170.
Zerlegung von Kräften 67.
Zerreißfestigkeit 152.
Ziehbrunnen 210.
Zone 43.
Zonenoberfläche 44.
Zugwiderstand 150. 250.
Zusammendrückbarkeit 48.
Zusammengesetzter Hebel 79.
Zusammensetzung von Kräften 67. 71.

Im unterzeichneten Verlag sind **neu** erschienen und durch alle Buchhandlungen zu beziehen:

Katechismus

für den

Bahnwärter-Dienst.

Von

Ernst Schubert,

Betriebsinspector, Vorsteher der Bauinspection Sorau.

Fünfte Auflage. Preis geb. 1.25 M.

Mit 56 Abbildungen und farbigen Signalen.

Inhalt: Von den allgemeinen Pflichten und Rechten des Bahnwärters. — Kenntnisse des Bahnwärters. — Bahnwärter als Bahnpolizeibeamter. — Bahnbewachungs- und Streckendienst. — Weichenstelldienst. — Barrièrendienst. — Signale auf der Eisenbahn. — Benutzung der Rollwagen. — Ueberwachung nnd Unterhaltung der Telegraphenleitung. — Behandlung verunglückter Personen. — Dienstvergehen und Strafbestimmungen.

Katechismus

für den

Weichensteller-Dienst.

Von

Ernst Schubert,

Betriebsinspector, Vorsteher der Bauinspection Sorau.

Vierte Auflage. Preis geb. 1,40 M.

Mit 54 Abbildungen.

Inhalt: 1. Von den Dienstobliegenheiten des Weichenstellers im Allgemeineu — 2. Ueber die Kenntnisse, welche Derjenige besitzen muß, der als Weichensteller angestellt zu werden wünscht. — 3. Von den Weichen. — 4. Von den optischen Signalen auf den Bahnhöfen. — 5. Von den Drehscheiben. — 6. Von den Schiebebühnen. — 7. Von den Centesimalwaagen. — 8. Von den Wasserkrähnen. — 9. Von den Lademaaßen. — 10. Ueber den Rangirdienst. — 11. Ueber den Bremser- und Schmiererdienst.

Diese Katechismen bezwecken die Ausbildung der mit der Bahnbewachung betrauten Beamten und Arbeiter, um hierdurch die Sicherheit des Eisenbahnbetriebes zu fördern, indem sie in klarer Uebersicht die wichtigsten Instructionen darbieten.

Es werden daher die Katechismen zur geneigten Prüfung ganz ergebenst empfohlen, mit der Bitte, gütigst erwägen zu wollen, ob es geeignet erscheint, den ihnen unterstellten Beamten und Aspiranten beim Unterricht und zur Vorbereitung auf die vorgeschriebene Prüfung diese Katechismen zur Anschaffung und zum Studium speciell zu empfehlen, wie dies auch bereits von einer ganzen Reihe von Eisenbahn-Behörden selbst angeordnet worden ist.

J. F. Bergmann, Verlagsbuchhandlung in Wiesbaden.

Soeben erschien in vollständiger Neubearbeitung:

Das

Eisenbahn-Bauwesen

für

Bahnmeister und Bauaufseher

als Anleitung für den praktischen Dienst und zur Vorbereitung für das Bahnmeister-Examen

gemeinfaßlich dargestellt

von

weil. A. J. Susemihl,

Großherzoglich Mecklenburg-Schwerin'schem Baumeister,
Vorsteher der Hinterpommer'schen Eisenbahn-Bauinspection zu Stargard.

Fünfte, wesentlich vermehrte Auflage.

Nach des Verfassers Tod weiter bearbeitet und herausgegeben

von

Ernst Schubert,

Königlich Preußischem Eisenbahn-Bau- und Betriebs-Inspector,
Vorsteher der Eisenbahn-Bauinspection Sorau.

Mit 244 Abbildungen im Text und 7 lithograph. Tafeln.

Preis: M. 6,80, gebunden M. 7,30.

Bei dieser neuen Bearbeitung ist der durch seine vielseitige literarische Thätigkeit auf diesem Gebiete, sowie durch seine mehr als zwanzigjährige Erfahrung im Eisenbahnbau- und Eisenbahnerhaltungsdienste wirkende Verfasser bestrebt gewesen, überall die praktisch wichtigen Gesichtspunkte noch besonders hervorzuheben und die in der langen Reihe von Jahren selbst gesammelten Erfahrungen mitzutheilen und in den Kreis der Betrachtung zu ziehen.

Der Umfang wurde um fast die Hälfte der vorigen Auflage vermehrt, und sind 244 ganz neue Abbildungen im Text sowie sieben lithographirte Tafeln aufgenommen worden, der heutigen Entwickelung des Eisenbahnwesens entsprechend.

Das Werk bildet infolgedessen das

vollständigste Lehrbuch des gesammten Eisenbahn-Bauwesens

und wird daher nicht nur zur Vorbereitung für die Bahnmeister-Prüfung dienen, sondern auch den bereits angestellten und im Bahnerhaltungsdienste thätigen Beamten von erheblichem Nutzen sein.

Preisgekrönt von dem Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen.

Die

Schule des Locomotivführers.

Handbuch

für

Eisenbahnbeamte und Studirende technischer Anstalten.

Gemeinfaßlich bearbeitet von

J. Brosius, Königl. Eisenbahn-Director, Harburg

und

R. Koch, Oberinspector bei der General-Direction der Kgl. Württemberg. Staats-Eisenbahnen.

Mit einem Vorwort

von

weil. Edmund Heusinger von Waldegg.

I. Abtheilung: **Der Locomotivkessel und seine Armatur.** Mit 181 Holzschnitten und 2 lithographirten Tafeln. Preis 2 Mark.

II. Abtheilung: **Die Maschine und der Wagen.** Mit 441 Holzschnitten, einer lithographirten Tafel und einer Tabelle. Preis 3 M. 60 Pf.

III. Abtheilung: **Der Fahrdienst.** Mit 128 Holzschnitten. Preis 3 Mark 60 Pf.

Das Locomotivführer-Examen. Ein Fragebuch aus der Verfasser „Schule des Locomotivführers." Mit einem Vorwort über die Ausbildung des Maschinen-Personals. Cartonnirt. Preis 80 Pf.

Die Abtheilungen I. II. III. kosten gebunden je 40 Pfennige mehr.

Nach dem allgemeinen Urtheil ist die „Schule des Locomotivführers" das Beste, was bis jetzt in dieser Richtung geboten worden ist, und von fast allen Verwaltungen wird das Werk den Prüfungen zu Grunde gelegt und bei den Instructionsstunden empfohlen.

Druck von Carl Ritter in Wiesbaden.

Brosius, Ignaz

Der äußere Eisenbahnbetrieb Zeichnenkunde, Arithmetik, Geometrie, Physik, Mechanik, Mechanische Hülfsmittel der Eisenbahnen

Bd.: 1

Wiesbaden 1893